



Nidotópica de la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*) en medios urbanos y diseño de estructuras que sirvan como lugares de nidificación

Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas

Presentado por:

D^a MARÍA NÚÑEZ RODRÍGUEZ

Tutores directores:

Dr. SALVADOR REBOLLO DE LA TORRE Y D JUAN PRIETO MARTÍN

Tutor Académico:

Dr. SALVADOR REBOLLO DE LA TORRE

Alcalá de Henares, a 27 de enero de 2020



Índice

Resumen	12
Abstract.....	13
1. Introducción.....	14
1.1. Objetivo general y objetivos específicos	17
2. Material y Métodos.....	17
2.1. Área de estudio	17
2.2. La cigüeña blanca	19
2.3. Localización y seguimiento de los nidos de cigüeña en Alcalá.....	20
2.4. Preparación de variables	21
2.5. Análisis de datos	24
3. Resultados.....	26
3.1. Evolución histórica (periodo de 1983 a 2018) del número de nidos de cigüeña en la ciudad.....	26
3.2. Tipo de volumen edificado ocupado por las cigüeñas y su cronología de ocupación durante el periodo 1983-2018.....	28
3.3. Estrategia seguida por las cigüeñas para estabilizar el nido	36
3.4. Localización de los nidos en la trama urbana a una escala espacial más amplia. 37	
3.4.1. Agrupación espacial de los nidos	37
3.4.2. Concentración de los nidos en el casco histórico	39
3.4.3. Localización de los nidos respecto del vertedero.....	41
4. Discusión	43
4.1. Caracterización de los lugares de nidificación a distintas escalas espaciales.....	43
4.1.1. Evolución histórica del número de parejas de cigüeñas en Alcalá	43
4.1.2. Utilización de los distintos tipos de volúmenes edificados.....	44
4.1.3. Elementos que dan estabilidad al nido	45
4.1.4. Distribución espacial de los nidos en la trama urbana	46
4.1.5. Localización de los nidos en relación con el vertedero.....	48
4.2. Propuesta de construcción de lugares de nidificación en el medio urbano.....	49
5. Conclusiones.....	50
6. Agradecimientos	52
7. Bibliografía.....	52
8. Anexos.....	57
Anexo 1. Definiciones	57
Anexo 2. Situación de los nidos en algunos edificios protegidos por el Plan Especial de Protección del Casco Histórico en 2008	60

Resumen

Algunas especies de aves están colonizando los medios urbanos. Parece razonable favorecer este proceso para reducir el drástico descenso de la biodiversidad mundial actual. Muchas ciudades trabajan con este objetivo en zonas verdes, pero faltan iniciativas dirigidas a favorecer las aves rupícolas, que nidifican en edificaciones, especialmente las especies de mayor tamaño como la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*). Nuestros objetivos son (1) caracterizar los lugares de nidificación de la cigüeña blanca en la ciudad de Alcalá a distintas escalas espaciales, y (2) proponer las bases para el diseño de lugares de nidificación de cigüeña blanca en el medio urbano. Para ello, estudiamos la actividad de la colonia de cigüeña desde 1983 a 2018 (36 años), las características de los volúmenes edificados sobre los que nidificaron, las estrategias que utilizaron para estabilizar nidos y la distribución espacial de los nidos a escala urbana. La colonia quintuplicó las parejas reproductoras en el periodo estudiado. Los nidos se construyeron mayoritariamente sobre volúmenes edificados, prominentes y esbeltos que permitieron estabilizar los nidos. Estos volúmenes se concentraron en el casco histórico, caracterizado por una volumetría protegida por normativa y definida por un conjunto de edificios bajos sobre los que se elevan puntualmente volúmenes edificados. También, se sitúa en una zona relativamente cercana al vertedero. Las cigüeñas mostraron una elevada capacidad de adaptación al medio urbano. Sin embargo, se enfrentan a importantes retos de futuro: se prevé la escasez de recursos tróficos y de lugares adecuados de nidificación. Sugerimos medidas para diseñar estos lugares de nidificación.

Palabras clave

Avifauna urbana · Conservación de la biodiversidad · Estrategias para estabilizar el nido · Fomento de lugares de nidificación · Preferencias de hábitat de nidificación · Utilización de edificios · Vertederos de residuos sólidos urbanos

Abstract

Some bird species are colonizing urban environments. Supporting this process seems reasonable with the aim to reduce the current drastic decline in global biodiversity.

Many cities work towards this goal in green areas, but there is a lack of initiatives aimed at favoring cliff-nesting birds, which nest in buildings, especially larger species such as White Stork (*Ciconia ciconia*). Our objectives are (1) to characterize the nest sites of White Stork in the city of Alcalá at different spatial scales, and (2) to propose a basis for the design of White Stork nest sites in urban areas. To do this, we study the activity of the stork colony from 1983 to 2018 (36 years), the characteristics of the built volumes on which they nested, the strategies they used to stabilize nests and the spatial distribution of nests in an urban scale. The colony quintupled in breeding pairs in the studied period. The nests were built mainly on prominent and slender built volumes that allowed nest stabilization. These volumes were concentrated in the historical center, which is characteristically protected by regulations and defined by a set of low buildings where occasionally a high construction arises. Additionally, the historical center is relatively close to the city's landfill. Storks showed high capacity to adapt to the urban environment. However, they face important challenges for the future: a shortage in trophic resources and adequate nest sites is foreseeable. We suggest measures to design those nest sites.

Keywords

Urban birdlife · Biodiversity conservation · Strategies for nest stabilization · Nest site promotion · Preferences in nest site selection · Uses for built volumes · Solid urban waste landfills

1. Introducción

La urbanización consiste tanto en un proceso demográfico como un proceso de cambio de uso del suelo. No es un hecho reciente, los primeros espacios urbanos podrían datar de hace unos 10 milenios (Soja 2008). Sin embargo, en los últimos 70 años este proceso se ha acelerado y el porcentaje de población humana que vive en ciudades ha aumentado del 30% al 55% (United Nations 2018). En paralelo a este proceso, distintas poblaciones de aves han colonizado los medios urbanos, presentando distintos grados de sin-urbanización –grados de dependencia del medio urbano– (Luniak 2004). Las aves reproductoras urbanas son cada vez más numerosas, incluso algunas especies presentan densidades mayores en los medios urbanos que en los espacios más naturales (Moller et al. 2011).

Para los próximos años se prevé el descenso generalizado de la biodiversidad mundial –la tasa de extinción actual es 5 veces mayor que en el pasado reciente (Johnson et al. 2017)–, y se prevé el crecimiento todavía más intenso de los núcleos urbanos –se espera que dos tercios de la población mundial habite en ciudades en 2050 (United Nations 2018)–. En este contexto, las ciudades deben contribuir a la mejora de los espacios naturales y rurales a través de una mayor eficiencia en la gestión de recursos y un menor impacto en el medio (United Nations 2018). También deben configurarse ellas mismas como espacios de conservación de la fauna urbana que, en ocasiones, es exclusiva o tiene sus principales poblaciones en estos medios (Luniak 2004).

En general, los esfuerzos de conservación de la avifauna urbana se han centrado en las zonas verdes y jardines (Fernández-Juricic y Jokimäki 2001; Goddard et al. 2010). Más recientemente se están realizando propuestas para la conservación de las aves rupícolas que anidan en estructuras construidas (Campobrodón 2012; Gunnell et al. 2013; Galanthus 2016; García y Sánchez 2018; García y Granell 2019). Conocer las características de las estructuras construidas donde anidan las aves permitiría recrear estas construcciones y favorecer –desde el diseño de la ciudad y de las construcciones– la conservación de la avifauna. Este enfoque ya está actualmente en desarrollo en distintos programas urbanos de fomento de la biodiversidad que, sin embargo, suelen centrarse en la avifauna de menor tamaño (Campobrodón 2012; Gunnell et al. 2013; García y Granell 2019). El fomento de la avifauna urbana de mayor tamaño está todavía en sus inicios y representa un reto todavía mayor.

La cigüeña blanca (*Ciconia ciconia* Linnaeus, 1758) (a partir de ahora la denominamos simplemente cigüeña) es un ave grande que ha utilizado las edificaciones humanas desde hace varios siglos. La primera evidencia de su presencia en construcciones humanas se refiere al año 1320, en el sur de Holanda (Skov 2003). En España, que presenta la mayor población de cigüeñas del mundo (Lázaro et al. 1986; Jerzak 2014), los nidos se sitúan principalmente en construcciones humanas –edificios, infraestructuras y otros elementos contruidos como grúas (alrededor del 53% de los nidos) (Díaz et al. 1994; Molina y del Moral 2004). En menor proporción, las cigüeñas nidifican en árboles (Díaz et al. 1994; Corrales 1996; Molina y del Moral 2004; Roi 2007). Las poblaciones reproductoras urbanas en España han aumentado durante los últimos treinta años (Prieto com.pers.).

La cigüeña es un ave zancuda grande de 1 m de altura y 2 m de envergadura (Rodríguez de la Fuente et al. 1978), de patas largas y alas anchas de entre 100 y 115 cm, principalmente planeadora (Prieto 2002; Juana y Varela 2016). Sus nidos son bastante voluminosos y en su primer año alcanzan un peso de unos 50 kg, una altura de 30 cm y un diámetro de 125 cm (Rodríguez de la Fuente et al. 1978). Por el uso reiterado, los nidos pueden alcanzar los 2 m de altura, 2 m de diámetro y media tonelada de peso (Corrales 1996; Vergara et al. 2010). Debido al elevado tamaño del ave y de sus nidos, la presencia de lugares adecuados de nidificación es, probablemente, uno de los factores limitantes para la nidificación de las cigüeñas en los ambientes urbanos.

La elevada envergadura y baja maniobrabilidad de las cigüeñas dificultan el aterrizaje y despegue de los individuos. Para aterrizar, las cigüeñas necesitan un volumen libre por encima del nido. Para despegar, las cigüeñas se “dejan caer al vacío”, por lo que necesitan también un volumen libre por debajo del nido. Por este motivo, los lugares de nidificación seleccionados por las cigüeñas están ligados a la idea de promontorio, *i.e.* de un elemento que sobresale respecto de su entorno (Roi 2007). Se asocian frecuentemente a los campanarios de iglesias (Roi 2007). Hasta el momento, se han caracterizado los lugares de nidificación en árboles, pero no se ha abordado la caracterización de los lugares de nidificación en edificios. Esperamos que las cigüeñas urbanas busquen estructuras con características similares a estos volúmenes, es decir, elementos prominentes y esbeltos, que sobresalen de la trama urbana, como torreones, espadañas, etc.

Debido al elevado volumen y peso de los nidos, la estabilidad del nido debe ser otro valor diferencial de la calidad del lugar de emplazamiento. Las cigüeñas seleccionarán

ubicaciones que favorezcan la estabilidad del nido como, por ejemplo, superficies planas que permitan el apoyo de los primeros palos o superficies inclinadas que incorporen estructuras a las que anclar el nido. En este sentido, las primeras fases de construcción del nido son determinantes. La colocación de los primeros palos puede durar varios días y, si las cigüeñas no consiguen enganchar esos primeros palos o, al menos, evitar que se muevan, descartarán ese emplazamiento (Prieto 2002).

Las peleas de las parejas de cigüeñas por ocupar los nidos en primavera sugieren una ocupación despótica (Vergara et al. 2010), es decir, los individuos dominantes monopolizarán los lugares de nidificación de mejor calidad (Fretwell y Lucas 1970). En el contexto de la reciente colonización de las ciudades por parte de las cigüeñas, es razonable pensar que los mejores lugares de nidificación serán los primeros en ser ocupados (Pulliam y Danielson 1991). A medida que la densidad de parejas vaya creciendo se irán ocupando lugares de nidificación menos adecuados. Por eso, la fecha de construcción de los nidos puede ser útil para explorar aspectos del proceso de selección de los lugares de nidificación por las cigüeñas urbanas.

La heterogeneidad espacial es inherente a la idea de ciudad (Rowe y Koetter 1998). Así, la avifauna encuentra un mosaico de manchas de hábitats de diferente calidad distribuidas de forma heterogénea en el tejido urbano (Strohbach et al. 2009) y, en cada mancha, la avifauna se enfrenta a distintos retos (Marzluff 2017). Por ello, la presencia de edificios singulares, la historia reciente y, en definitiva, el tipo de volumetría presente en cada parte de la ciudad –y la normativa que la define– pueden tener influencia en la distribución espacial de la biodiversidad. En consecuencia, pensamos que un proyecto amplio de conservación de biodiversidad en entornos urbanos debería tener en cuenta esta heterogeneidad de la trama urbana, comparando la volumetría de las zonas urbanas ocupadas por las cigüeñas con la volumetría de otras zonas de la trama urbana.

La ubicación de los nidos de cigüeña en una ciudad no dependerá sólo de las características volúmetricas de cada parte de la ciudad, sino también de la localización de los recursos tróficos. Las cigüeñas anidan preferiblemente en zonas próximas a las zonas en que se alimentan porque esto reduce los desplazamientos y favorece el éxito reproductor (Roi 2007). En los ambientes rurales y más naturales nidifican en áreas cercanas a ríos, embalses, graveras, y en zonas con prados y pastos, dehesas y campos de cultivo (Rodríguez de la Fuente 1978; Díaz et al. 1994; Díaz et al. 1996). No suelen nidificar en zonas forestales ni arbustivas extensas (Díaz et al. 1996). Cuando anidan en

las ciudades, las cigüeñas han de recorrer mayores distancias hacia las fuentes de alimento, que se encuentran, generalmente, fuera de la ciudad. Los vertederos constituyen fuentes de alimento –principalmente restos de pollo doméstico (Chenchouni 2016)– abundante y predecible para las cigüeñas urbanas (Tortosa et al. 2002). Nosotros esperamos que los nidos de las cigüeñas urbanas se sitúen en la parte de la ciudad más próxima a los vertederos, lo que les permitiría acortar los desplazamientos al nido.

1.1. Objetivo general y objetivos específicos

El objetivo general de este TFM es estudiar una colonia urbana de cigüeña, caracterizar los lugares de nidificación (nidotópica) y utilizar esta información para diseñar nuevos lugares de nidificación en la trama urbana. Utilizamos como modelo la colonia urbana de cigüeña de Alcalá de Henares porque es una de las principales colonias urbanas de España y del mundo, y porque ha estado sometida a un intenso monitoreo desde el inicio de la colonia (Prieto 2002). Los objetivos específicos son:

- 1) Caracterizar los lugares de nidificación de la cigüeña en la ciudad de Alcalá a distintas escalas espaciales. Analizaremos: a) la evolución histórica (periodo de 1983 a 2018, un total de 36 años) del número de nidos de cigüeña, b) el tipo de volumen edificado ocupado por las cigüeñas y su cronología de ocupación durante dicho periodo, c) las estrategias utilizadas por las cigüeñas para dotar de estabilidad a los nidos y, finalmente, d) la localización de los nidos en la trama urbana a una escala espacial más amplia que los dos puntos anteriores (b y c).
- 2) Diseñar lugares de nidificación para las cigüeñas en el medio urbano. Describiremos las características formales que deben tener los lugares de nidificación de buena calidad, las áreas de la ciudad que pueden implantar estos lugares de nidificación y las implicaciones legales que puede tener la creación de estas construcciones.

2. Material y Métodos

2.1. Área de estudio

La ciudad de Alcalá de Henares está situada al noreste de la Comunidad de Madrid, en el centro de la Península Ibérica. Tiene alrededor de 194.000 habitantes (2018) (INE 2019). Está situada a 590 metros de altitud (Instituto Tecnológico y GeoMinero de España 1990). Su clima es mediterráneo templado con verano seco y caluroso (Departamento de Producción de la AEMET y Departamento de Meteorología y Clima 2011), con una temperatura media anual de 13'8 °C y una precipitación media anual de

425 mm (AM Online Projects s.f.). El municipio presenta un relieve poco accidentado, excepto en el margen izquierdo del principal río que lo atraviesa –río Henares–, que es donde se encuentra el vertedero de residuos sólidos urbanos (Instituto Tecnológico y GeoMinero de España 1990).

La ciudad se asienta sobre restos romanos, árabes y visigodos (Palacios et al. 1997). En 1499 el cardenal Cisneros comienza la construcción de la universidad de Alcalá. En los siguientes siglos se construyeron 13 colegios cisnerianos, 18 colegios-convento y 16 colegios seculares, todos bajo el gobierno del Colegio Mayor (fuente: Wikipedia). Esto supuso una transformación determinante para el tejido urbano. Las capillas, iglesias, oratorios y cúpulas se impusieron en el perfil de la ciudad.

A finales del siglo XVIII, la expulsión de los Jesuitas de la Península, las guerras napoleónicas y la desamortización de Mendizábal favorecieron un periodo de decadencia y abandono de los edificios (Moreno 2007). A finales del siglo XIX, un tímido esfuerzo de reconstrucción y una discreta industrialización –en el sector ferroviario y cerámico– se paralizó por el comienzo de la Guerra Civil. La ciudad se vio fuertemente afectada por su función de asentamiento militar: las ruinas se multiplicaron. Además, algunos sucesos como el incendio del Palacio Arzobispal en 1939 crearon nuevos recintos vacíos y deshabitados (Del Cerro 2017).

A partir de los años 60, la dictadura franquista favorece el desarrollo de esta ciudad como polo industria –dependiente de Madrid– y como área residencial –construida mayoritariamente en forma de bloque abierto tanto en nuevos barrios como en algunas zonas del casco histórico (Moreno 2007).

Alcalá de Henares se declara Conjunto Histórico-Artístico en 1968 pero no frena la construcción de edificios en altura en el casco histórico (Moreno 2007). A partir de 1977 se recupera la Universidad (Alcalá de Henares 1991), disminuye la edificación en altura y se produce un cambio de perspectiva sobre el mantenimiento del patrimonio. En el año 1984 se constituye una Comisión Local de Patrimonio, que propiciará el mantenimiento y rehabilitación de edificios históricos. Mediante un convenio firmado en 1985 por agentes estatales, provinciales, municipales y locales, y por la Universidad, se implantan distintas facultades en el Casco Histórico (Alcalá de Henares 1991), y la ciudad recibe el premio Europa Nostra de Conservación.

En 1996 se publica el Plan General de Ordenación Urbana (Ayuntamiento de Alcalá de Henares 1996), que fija las condiciones de edificación en toda la ciudad presente y futura. Delimita la ciudad en unidades homogéneas “atendiendo a criterios de

homogeneidad tipológica y funcional” (Ley 9/2001), que denomina “ámbitos”. No fija las condiciones del casco histórico, porque las deriva al Plan Especial de Protección del Casco Histórico, publicado en 1998 (Ayuntamiento de Alcalá de Henares 1998). Entre otras cosas, este plan trata de recuperar y conservar la volumetría original de la ciudad. En 1998 la UNESCO nombra Ciudad Patrimonio de la Humanidad a Alcalá de Henares (Moreno 2007).

2.2. La cigüeña blanca

La cigüeña pertenece a la familia Ciconiidae. Tiene una distribución paleártica occidental, criando en prácticamente toda Europa, Norte de África, Oriente Próximo y una pequeña zona del centro de Asia (donde se encuentra la subespecie asiática de Uzbekistán) (Schulz 1999). En España ocupa principalmente la mitad occidental, desde la vertiente sur de la cordillera cantábrica hasta Cádiz (Martí et al. 2003). Se distribuye en toda la Comunidad de Madrid excepto en Madrid capital, el sureste y zonas altas de la sierra (Díaz et al. 1994). La mayor colonia de la Comunidad está sobre fresnos en la finca Prado Herrero en Manzanares El Real (170 nidos), mientras que la colonia urbana más numerosa se encuentra en Alcalá de Henares (130 nidos) (Molina y del Moral 2004). El río Henares constituye el límite oriental de la distribución de la cigüeña en la península ibérica (Molina y del Moral 2004).

En la península ibérica, la cigüeña presentaba hasta hace pocas décadas un comportamiento migratorio, llegando a sus zonas de cría a partir de diciembre, para realizar las puestas principalmente entre marzo y abril (Díaz et al. 1996). A finales de julio solían cruzar de nuevo el Estrecho para llegar al sur del Sáhara, a la zona de Mali y centro de África. Este comportamiento migratorio sufrió cambios graduales a partir de los años 90. Un porcentaje pequeño de la población dejó de migrar al África subsahariana, alimentándose de restos orgánicos en basureros o del cangrejo rojo (*Procambarus clarkii*) en los arrozales de Doñana. Este comportamiento se extendió y a finales de los años 90 las cigüeñas no migradoras ya eran mayoría (Prieto com. pers.).

Actualmente, la mayoría de los adultos ocupan los nidos entre mediados de octubre y finales de diciembre. Suelen volver a su mismo nido (Vergara et al. 2010) y con la misma pareja (Prieto 2002). Las cigüeñas jóvenes llegan más tarde, en febrero y marzo, se emparejan entre sí y normalmente construyen un nido nuevo porque todos los nidos suelen estar ya ocupados. Crían por primera vez a los dos o, más frecuentemente, a los tres años de edad (Prieto com. pers.).

La cigüeña es una especie gregaria en la época reproductora y en la no reproductora. En España, el 86% de las parejas nidifica en colonias (Molina y Del Moral 2004), aunque también hay parejas solitarias (Díaz et al. 1996). El nido suele estar compuesto de ramas trenzadas, palos, paja, hojas, barro y otros materiales artificiales como latas, plásticos, cuerdas, trapos, gomas (Prieto 2002; Corrales 1996). Si el nido está poco vigilado o desocupado, las parejas de los nidos cercanos roban los palos del nido. Por esta razón los nidos vacíos suelen desaparecer rápidamente.

Aunque España alberga la población más importante de cigüeña de Europa, la población disminuyó entre 1948 y 1984 (Molina y Del Moral 2004). En el año 1986 la población de cigüeñas alcanzó un valor mínimo, lo que impulsó que grupos conservacionistas iniciasen su labor de protección. La especie está catalogada como vulnerable en la Comunidad de Madrid (CMAOTS 2013) y se encuentra en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (Real Decreto 139/2011). Sus nidos quedan protegidos por la Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y la Biodiversidad: “[queda prohibido] la destrucción, daño, recolección y retención de sus nidos, de sus crías o de sus huevos, esto últimos aun estando vacíos”. Algunas de las principales amenazas a la especie son la pérdida o modificación de sus lugares de nidificación, por ejemplo, por restauración de los edificios donde nidifican, y la depredación (Corrales 1996).

2.3. Localización y seguimiento de los nidos de cigüeña en Alcalá

En la ciudad de Alcalá la presencia de cigüeñas está documentada desde antes de 1935. Entre 1973 y 1981, primero Bernis y más tarde el alcalde Arsenio Lope Huerta realizan distintos censos que documentan el aumento de la población de cigüeña, pasando de 7 a 21 nidos durante ese periodo (Prieto 2002). Desde 1983 hasta la actualidad, Juan Prieto, con el apoyo del colectivo “Ciconia”, realiza un censo y seguimiento anual de la población. Además, realizan labores de defensa de la especie de forma altruista, como impedir molestias a la incubación, la retirada ilegal de los nidos, o asesorar en obras de restauración de los edificios –sustituyendo los nidos retirados por nidos artificiales (Prieto 2002).

La mayor parte de la información utilizada para realizar este TFM procede del seguimiento y monitoreo de los nidos realizado por Juan Prieto y el colectivo “Ciconia” durante el periodo 1983-2018, así como del trabajo de posicionamiento con GPS con coordenadas ETRS89 y UTM 30 realizado por D^a Alba Núñez para su Trabajo Fin de

Grado que será presentado próximamente. Las variables utilizadas en el presente TFM son:

- Posicionamiento y ubicación del nido
- Nombre y código del nido
- Primer año de construcción del nido
- Origen natural o artificial del nido
- Datos relativos a la ocupación anual de cada nido
- Altura del nido respecto del suelo

A cada nido se le asoció un tipo de volumen edificado o de árbol sobre el que estaba ubicado. Se midió la base de cada volumen en dos direcciones –anchura y longitud– con la herramienta “Medida” de ArcMap 10.3. Se calculó su superficie basal aproximada multiplicando anchura por longitud.

2.4. Preparación de variables

Para el análisis de la nidotópica de la cigüeña se ha seguido la terminología que se muestra en el Anexo I respecto al origen del nido (natural o artificial), la actividad en el nido un año determinado (nido activo o no activo), momento de construcción (nido nuevo, reutilizado o rehecho) y estado anual del nido (nido completo, restos de nido o nido totalmente desaparecido). Este TFM sólo se realizó con los nidos de origen natural. En el Anexo I también se muestran las definiciones de los lugares de nidificación. Utilizamos términos referidos a volúmenes edificados cuya definición procede del Diccionario Visual de Términos Arquitectónicos de De la Plaza et al. (2012). La Tabla 2.1 y las Fig. 2.1 y 2.2 relacionan los términos y muestran una imagen de los mismos. Partiendo de esta categorización de volúmenes edificados, se realiza posteriormente una reclasificación secundaria que permite agrupar los términos entre sí. La reclasificación trata de agrupar los volúmenes edificados según el tipo de edificio que podría replicarse en un proyecto de creación de hábitats; es decir que se refiere a su familia tipológica. En el Anexo I también se definen una serie de términos para referirse a la ubicación relativa dentro del volumen edificado. Se definen 7 categorías (Fig. 2.1 y Tabla 2.1, columna de ubicación). Finalmente, en el Anexo I también se definen 5 estrategias utilizadas por las cigüeñas para dotar de estabilidad al nido (Fig. 2.2).

Tabla 2.1: Tipo de volumen edificado o árbol donde se ubican los nidos de cigüeña en Alcalá de Henares, reclasificación del tipo de volumen edificado en un número menor de clases y ubicación relativa del nido en el tipo de volumen. Ver definiciones en el Anexo I.

Árboles y tipos de volumen edificado	Reclasificación	Ubicación relativa en el volumen
Árboles	Árboles	-
Espadaña	Muro adosado	Cumbre, Centro, Esquina, Hueco, Repisa
Imafronte		
Muro	Muro	Centro, Esquina
Cubierta a 1 agua	Cubierta prominente	Buhardilla, Cumbre, Esquina (o Vértice), Repisa
Cubierta a 2 aguas		
Cubierta a 4 aguas		
Cubierta de pabellón		
Cubierta piramidal		
Cubierta plana		
Torre de reloj		
Cubierta a 3 aguas	Cubierta adosada a elemento prominente	Esquina
Cubierta piramidal con tambor	Cubierta prominente con tambor	Cumbre, Bajo tambor, Esquina (o Vértice), Repisa
Cubierta de pabellón con tambor		
Espadaña en cubierta	Saliente en cubierta	Esquina, Cumbre
Muro en cubierta		
Cubierta piramidal torre Tipo de exenta	Torre	Cumbre centro, Cumbre Esquina, Repisa centro, Repisa esquina, Hueco
Torre acabada en muro		
Depósitos, chimeneas, torre		
Cubiertas otros edificios	Otros edificios	Cumbre(ra), Esquina, Centro

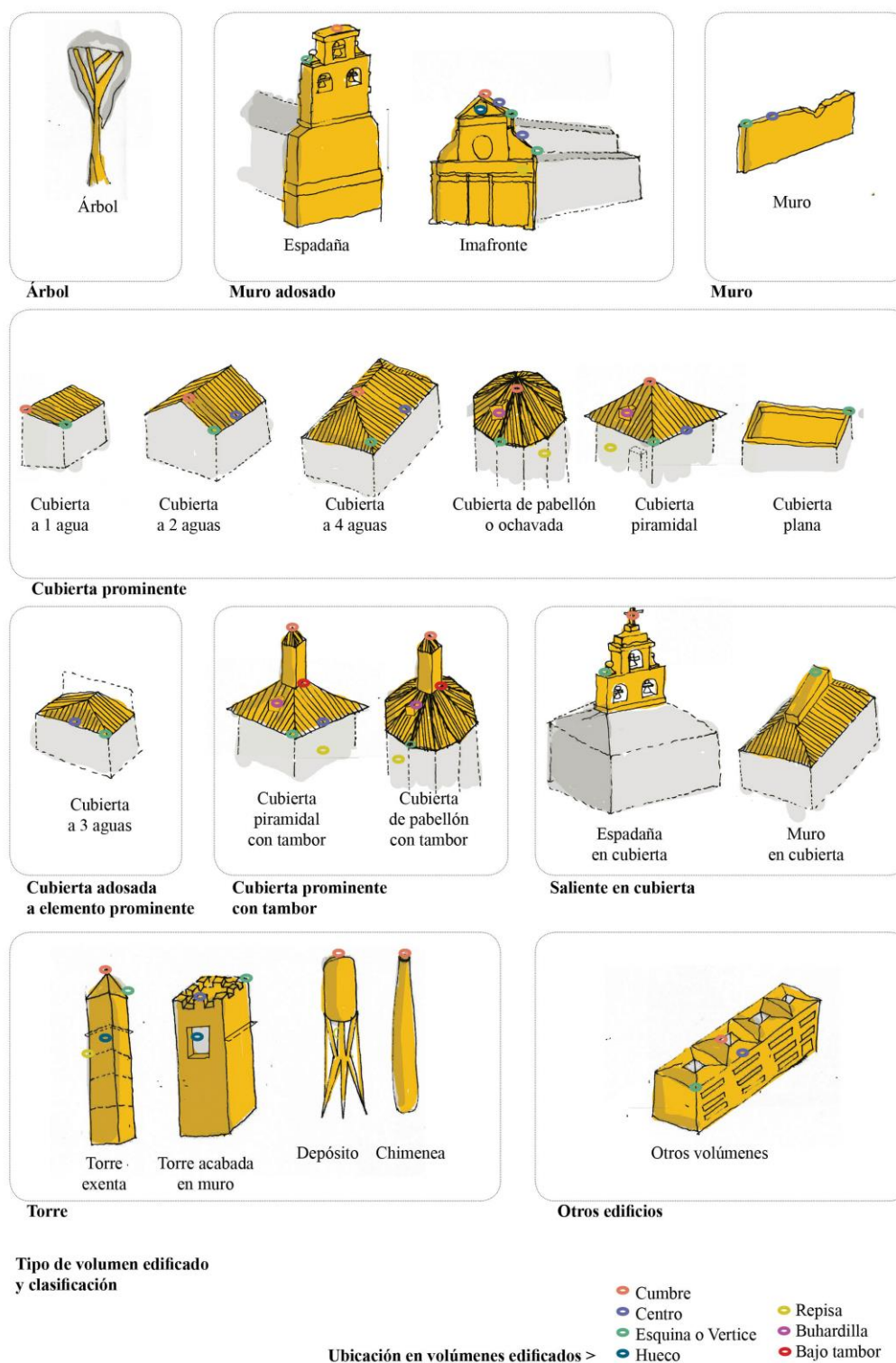


Figura 2.1: Tipo de volumen edificado o árbol donde se ubican los nidos de cigüeña en Alcalá de Henares, reclasificación del tipo de volumen edificado en un número menor de clases y ubicación relativa del nido en el tipo de volumen. Ver también Tabla 2.1 y definiciones en el Anexo I.

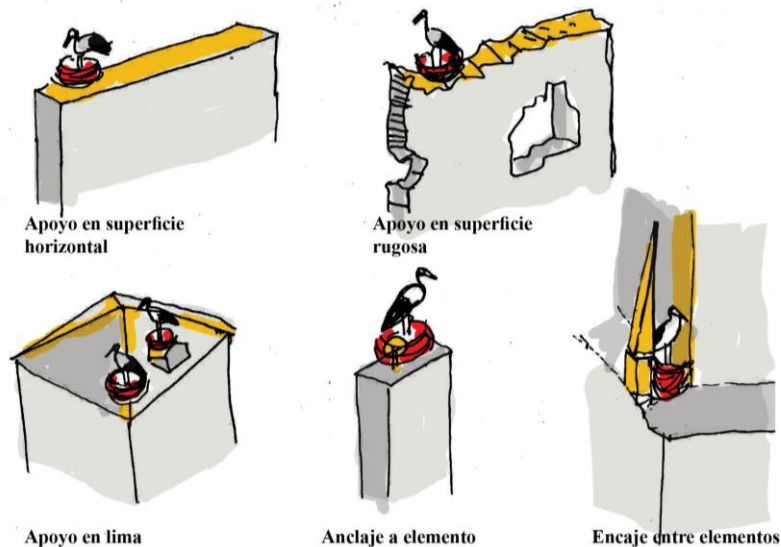


Figura 2.2: Diferentes estrategias para estabilizar el nido utilizadas por las cigüeñas en Alcalá de Henares. Ver definiciones en el Anexo I.

2.5. Análisis de datos

Para estudiar el nivel de agrupación espacial de los nidos de las cigüeñas, se analizaron los datos de ubicación de los nidos mediante el programa ArcMap 10.3. Se estimaron las distancias entre los nidos activos cada año mediante la herramienta de análisis de patrones “Promedio de vecino más cercano” –o *Nearest Neighbour Distance* (NND)– de ArcMap10.3. Esta herramienta calculó para cada año la distancia media al vecino más cercano (NND media) en base a la media de la distancia desde cada nido activo hasta el nido activo vecino más cercano. También calculó la distancia media esperada por azar (NND por azar) cada año, es decir, la distancia media entre vecinos distribuidos aleatoriamente en el área del rectángulo de encuadre mínimo definida por los nidos activos cada año. Finalmente, calculamos el cociente entre la NND media y la NND por azar para saber cómo evolucionó el nivel de agrupamiento a lo largo del periodo de estudio. Para cada año también devolvió dos medidas de significancia estadística.

Se estudió la agrupación espacial de los nidos y la posibilidad de diferenciar subcolonias mediante la herramienta “Zona de influencia” (“*Buffer*”) de Arcmap 10.3. La distancia del buffer es la distancia entre nidos proyectada en un plano horizontal. No se tiene en cuenta la distancia vertical entre nidos (diferencias de altura a la que están situados los nidos). Esta herramienta creó polígonos disueltos –no superpuestos entre sí– alrededor de los nidos activos con un radio de distancia creciente del *buffer* de 0 m a

120 m en el año 2018. Con un *buffer* de 120 m o superior, todos los nidos quedaron agrupados en una sola colonia. Para cada distancia de *buffer* se contó el número de polígonos independientes resultantes, que se consideraron como subcolonias.

Se realizó un modelo digital de elevaciones (MDE) de la ciudad a partir de datos LIDAR 2da Cobertura (2015-Actualidad) correspondientes al Casco Histórico de Alcalá de Henares disponibles en el Centro de Descargas del CNIG. La disponibilidad de información LiDAR (Light Detection And Ranging) para todo el territorio español, en el marco del Plan Nacional de Ortofotografía Área, con una resolución espacial de 1 puntos/m², ha permitido realizar un MDE. Este MDE permite analizar la “topografía” de las cubiertas de la ciudad de Alcalá de Henares.

Los datos LiDAR fueron procesados mediante el uso de las herramientas LAStools y FUSION LDV versión 3.80 (McGaughey 2009) siguiendo los siguientes pasos:

- Descompresión de los archivos de extensión “.laz”.
- MergeData: Comando para unir las teselas de nubes de puntos de la zona de estudio.
- GridSurfaceCreate: Comando para crear un MDS ráster con una resolución de 1 m con los puntos clasificados como suelo.
- DTM2ASCII: Comando para transformar el formato del archivo obtenido y poder visualizarlo en QGis 2.18.28 “Las Palmas”.

La cartografía fue realizada mediante QGis 2.18.28 “Las Palmas”. Las bases cartográficas fueron obtenidas a través del Centro de Descargas del CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica 2019). La capa que indica las construcciones urbanas y el número de plantas de cada una fue descargada de la Sede Electrónica del Catastro (Sede Electrónica del Catastro 2019). La capa de ámbitos del PGOU fue suministrada por el Ayuntamiento de Alcalá de Henares. Las gráficas fueron realizadas principalmente con Excel Microsoft Office 365.

Se realizaron correlaciones de Pearson entre pares de algunas variables como, por ejemplo, entre la altura media de los nidos nuevos construidos cada año y el año de construcción.

3. Resultados

3.1. Evolución histórica (periodo de 1983 a 2018) del número de nidos de cigüeña en la ciudad

Entre 1983 y 2018 las cigüeñas utilizaron 230 nidos distintos en el municipio de Alcalá de Henares. El 93% de los nidos fueron de origen natural. El 7% restante (16 nidos) fueron de origen artificial y fueron favorecidos por la instalación de nidos artificiales en lugares donde no había un nido natural previo. Para caracterizar los lugares de nidificación de las cigüeñas sólo hemos tenido en cuenta los 214 nidos de origen natural.

A lo largo del periodo de estudio, el número de nidos activos aumentó, alcanzando un máximo de 118 nidos en 2017 (Fig 3.1). En los primeros 5 años hubo un descenso del número de nidos activos, pasando de 24 a 11 nidos. A partir de 1987, el número de nidos ocupados aumentó progresivamente hasta el año 2010, cuando se registraron 110 nidos activos. A partir de 2010 el número de nidos activos, equivalente a parejas reproductoras, se mantuvo bastante estable entre 100 y 120 nidos.

En los 36 años de estudio se construyeron 192 nidos nuevos. El número de nidos nuevos construidos cada año osciló entre 0 y 13 nidos (Fig. 3.2), con una media anual de 5 nidos. Desde 1993 hasta la actualidad descendió el porcentaje de nidos nuevos respecto a los nidos activos cada año.

De los 214 nidos de origen natural que han existido en Alcalá en el periodo estudiado, en el año 2018 había 113 nidos activos, 6 nidos sólo tenían restos del nido y 95 nidos habían desaparecido por completo.

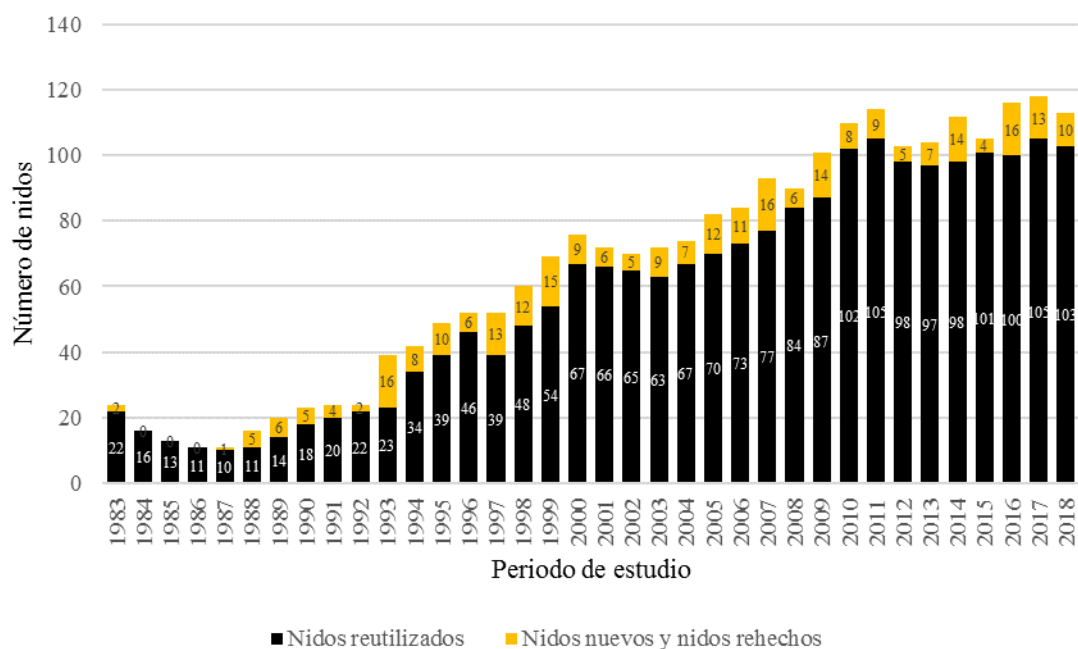


Figura 3.1: Evolución del número de nidos activos de cigüeña blanca en el municipio de Alcalá de Henares durante el periodo 1983-2018. En la figura se indica en amarillo la suma de los nidos nuevos y los nidos rehechos y en negro los nidos reutilizados cada año.

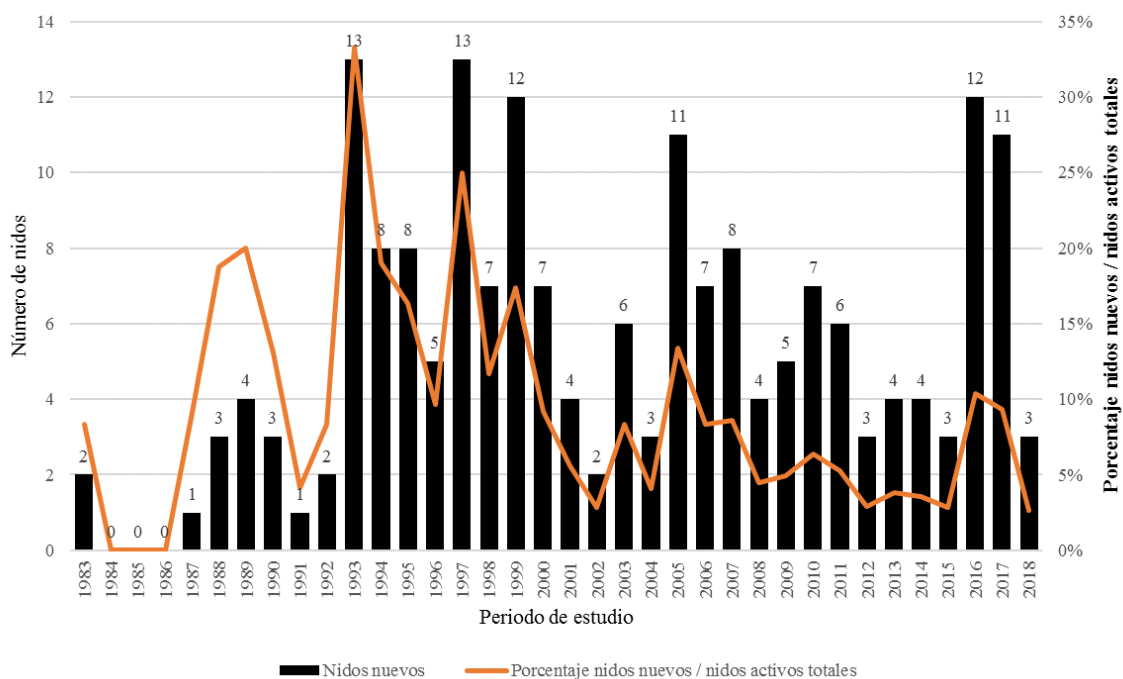


Figura 3.2: Evolución temporal del número de nidos nuevos de cigüeña blanca construidos en el municipio de Alcalá de Henares durante el periodo 1983-2018 y del porcentaje que representan los nidos nuevos respecto al total de nidos activos cada año.

3.2. Tipo de volumen edificado ocupado por las cigüeñas y su cronología de ocupación durante el periodo 1983-2018

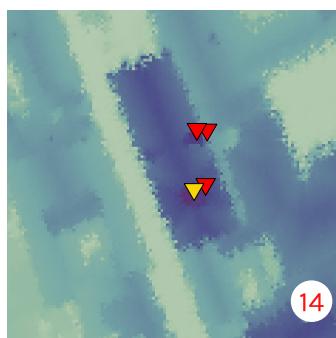
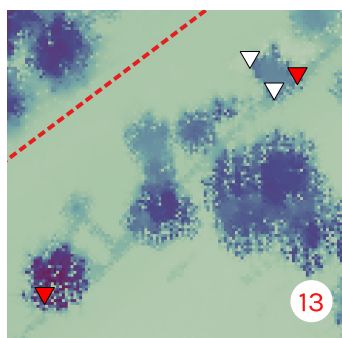
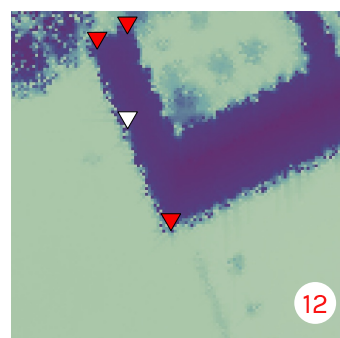
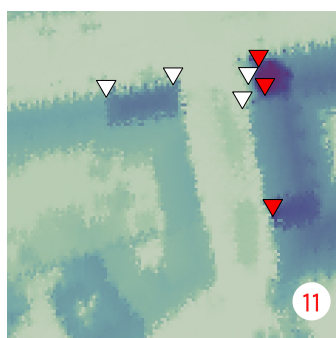
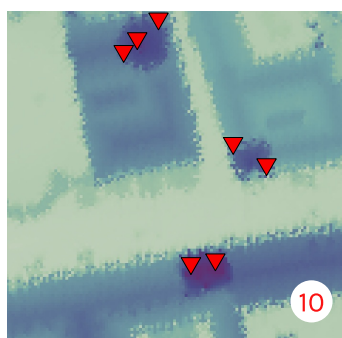
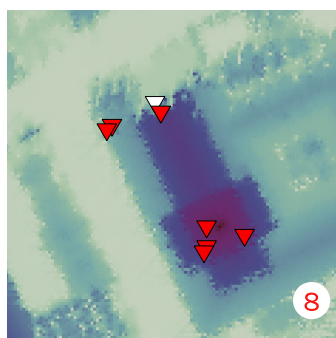
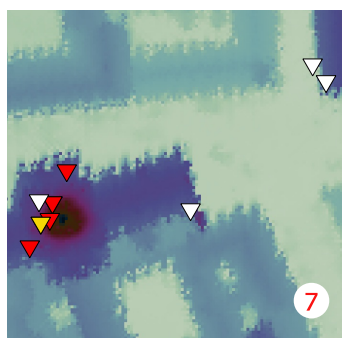
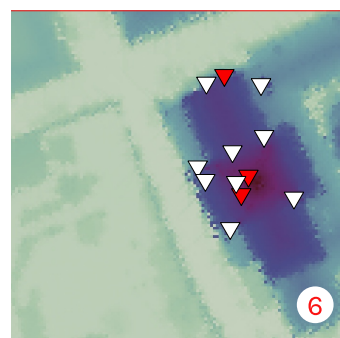
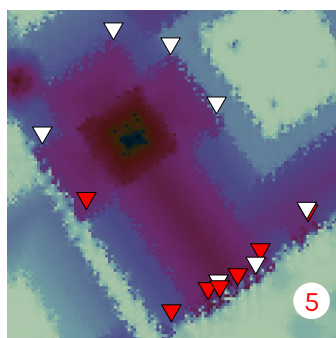
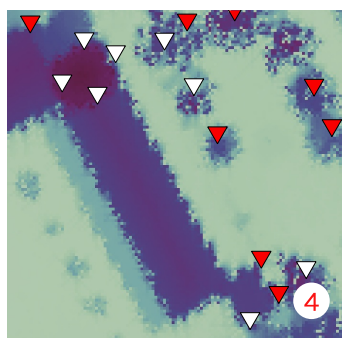
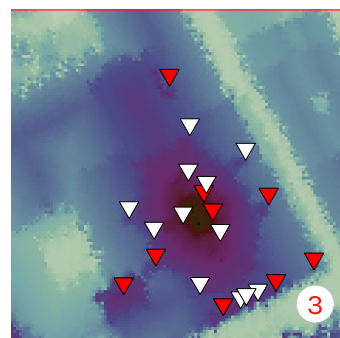
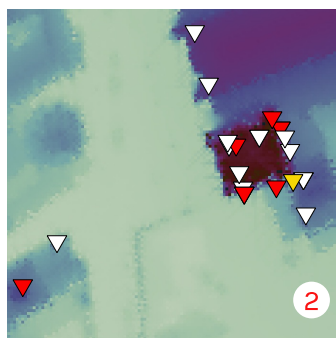
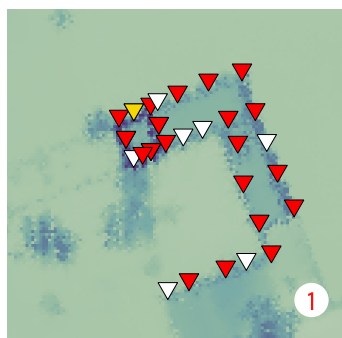
El 93% de los nidos de cigüeñas se construyeron en 74 volúmenes edificados distintos, y el 6% restante, en 14 árboles de la ciudad (Anexo 2 y Anexo 3). El número de nidos activos cada año por volumen edificado osciló entre 0 y 14 a lo largo del periodo de estudio, con una media de 2 nidos por volumen edificado. La mayor concentración de nidos activos se produjo en la torre de la Catedral Magistral (14 nidos simultáneamente).

La mayoría de los 214 nidos estaban situados en una construcción situada en una posición elevada o sobresaliente respecto de su entorno más inmediato –promontorio– (Fig. 3.3 y 3.4). Por ejemplo, sobre campanarios, espadañas, torres de iglesias y conventos, copas de los árboles, etc.



Figura 3.3: Perfil del casco histórico de Alcalá de Henares en la actualidad. Pueden observarse diferentes hitos o cubiertas prominentes que sobresalen respecto al resto de las edificaciones y que han sido seleccionadas frecuentemente por las cigüeñas para ubicar sus nidos.

Fuente fotografía original: Moreno 2007.



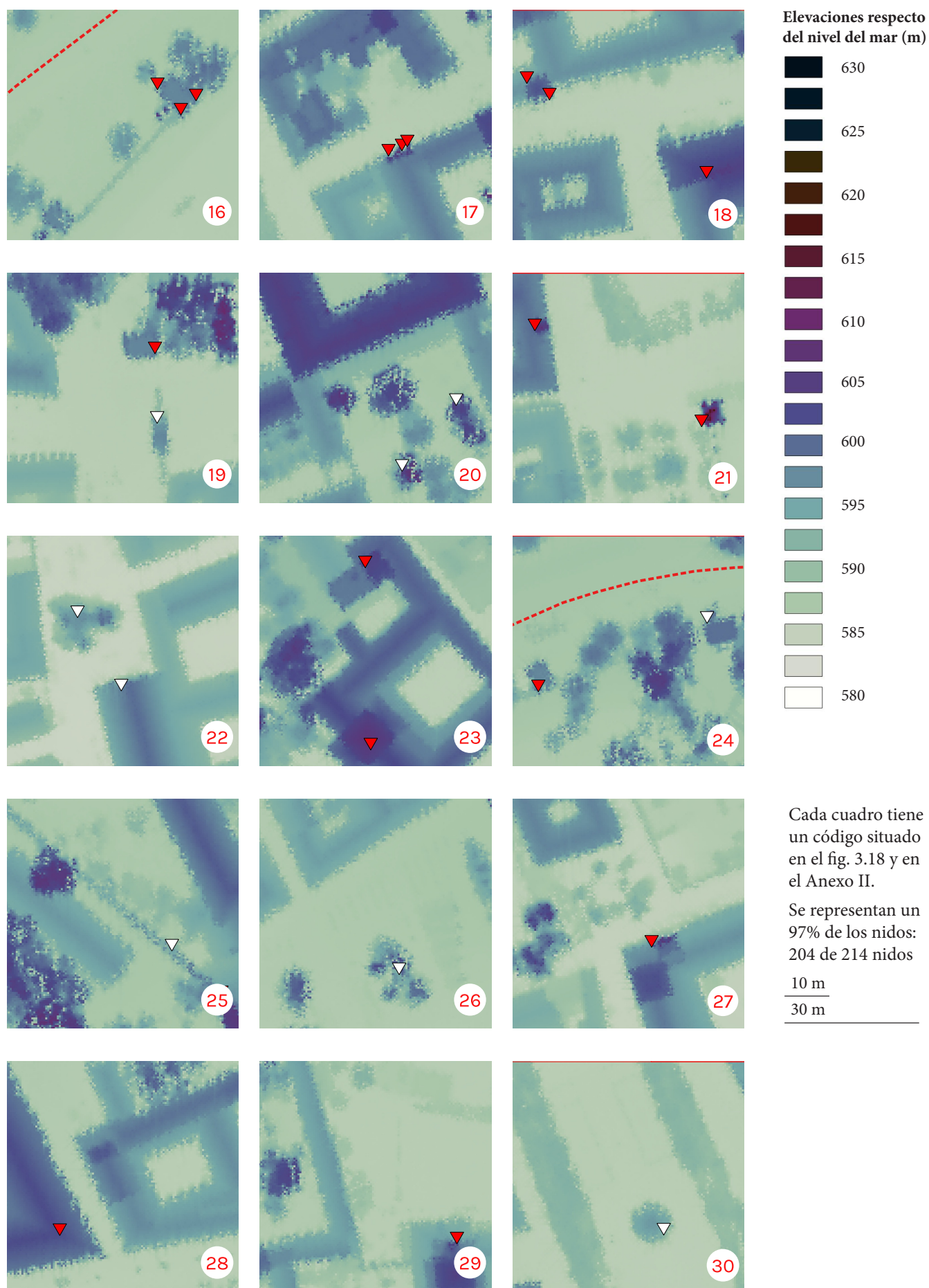


Figura 3.4: Posición de los nidos de cigüeña blanca en 2018 en un modelo digital de elevaciones realizado a partir de datos LIDAR del municipio de Alcalá de Henares. Los nidos activos se representan con una flecha roja, los restos de nidos con una flecha amarilla y los nidos desaparecidos en la actualidad con una flecha blanca. Los nidos de cigüeña se sitúan sobre diferentes tipos de hitos o cubiertas permanentes que sobresalen. Las 30 imágenes representan más del 97% de los 214 nidos de origen natural que han existido en Alcalá de Henares. Las imágenes están ordenadas según el número de nidos que representan, de mayor a menor.

A lo largo del periodo de 1987-2018, la altura media de los nidos nuevos construidos cada año tendió a descender (Correlación de Pearson $r = -0,64$, $p < 0.05$, $n = 32$) (Fig. 3.5). El nido más bajo estaba situado a 8 m de altura y el más elevado a 40 m. La mayor parte de los nidos en la actualidad (73%) se encontraron a una altura entre 10 y 25 m del suelo (Fig. 3.6).

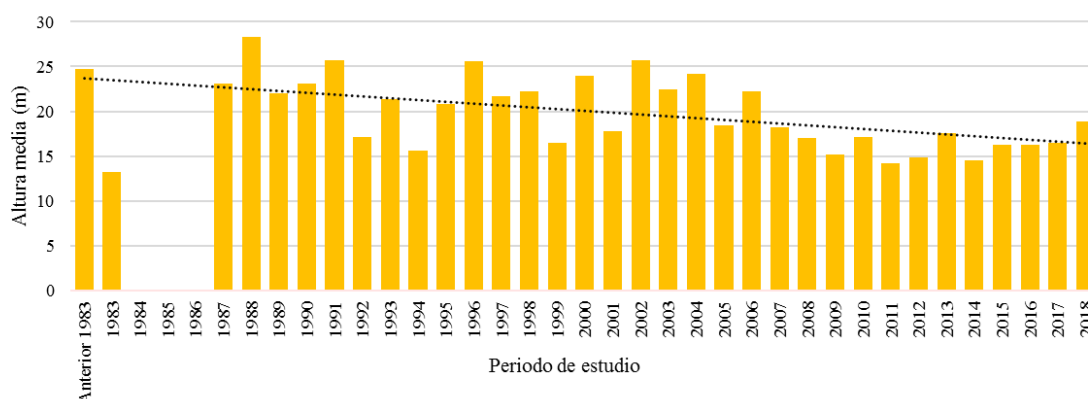


Figura 3.5: Altura media (m) de los nidos de cigüeña blanca construidos cada año durante el periodo estudiado (1983-2018) en Alcalá de Henares.

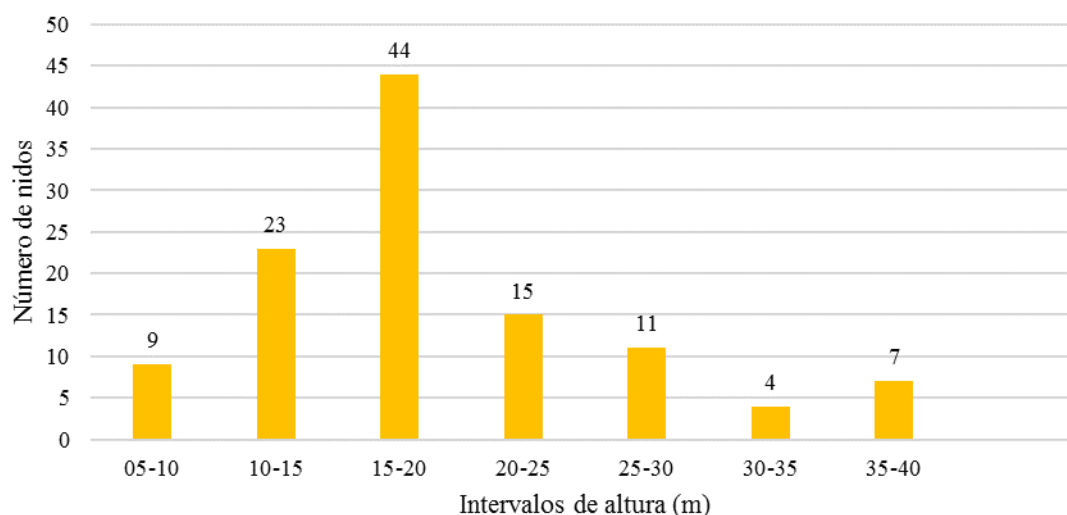


Figura 3.6: Número de nidos activos de cigüeña blanca existentes en la actualidad (2018, 113 nidos) en Alcalá de Henares según intervalos de altura sobre el suelo.

La forma y tamaño de los volúmenes edificados sobre los que anidaron las cigüeñas fue variable (Fig. 3.7 y 3.8). Anidaron tanto sobre volúmenes lineales –muros– (25% de los nidos) como sobre volúmenes de una base de mayor superficie, entre ellos, sólidos de planta de forma cuadrada, circular y de polígono regular (37%). Casi la mitad de los nidos (46%) se situaron en volúmenes con una superficie basal inferior a 50 m² de superficie.

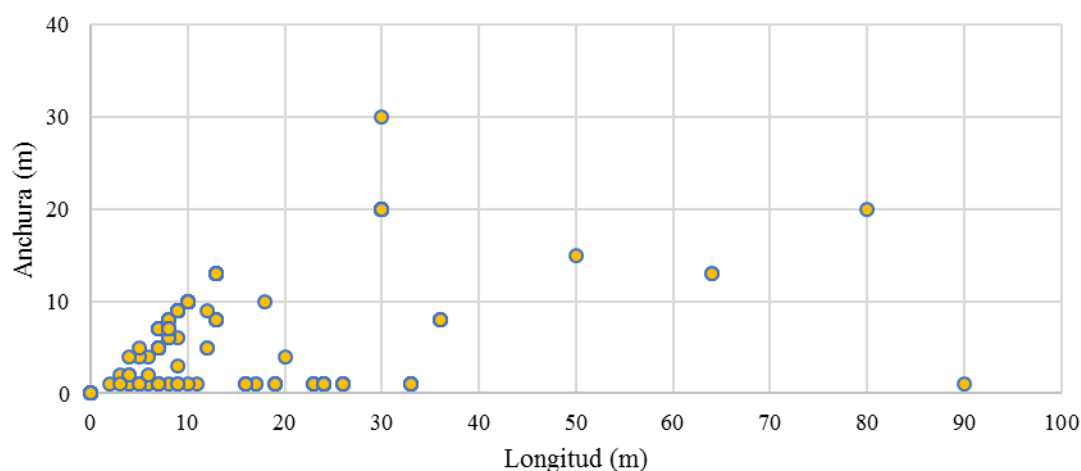


Figura 3.7. Anchura y longitud (en metros) de los volúmenes edificados utilizados por las cigüeñas para construir sus nidos en la ciudad de Alcalá de Henares. La mayoría de los nidos se encontraban en volúmenes edificados de pequeña superficie basal, de menos de 100 m².

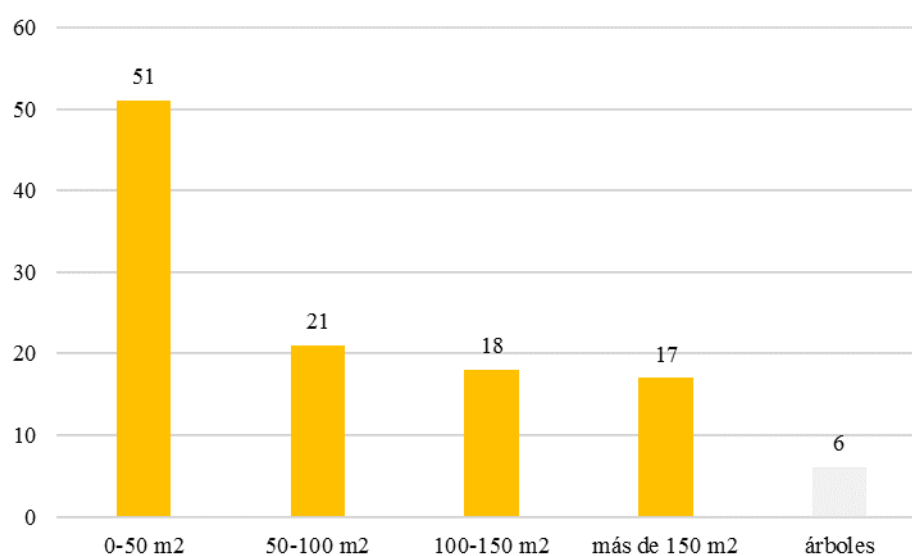


Figura 3.8: Número de nidos de cigüeña blanca existentes en la actualidad (2018, 113 nidos) en Alcalá de Henares sobre volúmenes edificados de distinta superficie basal y sobre árboles. De los árboles no se midió la superficie basal o de la copa.

La variación en la altura de los nidos y en la forma y dimensiones del volumen edificado sobre el que se asientan está relacionada con el tipo de volumen que escogieron las cigüeñas para nidificar (Tabla 3.1)

Tabla 3.1. Dimensiones medias de la base (anchura y longitud) de los distintos tipos de volúmenes edificados utilizados por las cigüeñas blancas para construir los nidos (no se han incluido los árboles). También se indica la altura media de los nidos en dichos volúmenes edificados. Los tipos de volúmenes edificados están ordenados de menor a mayor superficie basal.

	Anchura (m)	Longitud (m)	Altura de los nidos (m)
Saliente en cubierta	1,3	4,6	17,2
Muro adosado	1,0	22,3	19,4
Muro	1,0	22,6	9,5
Torre	7,7	8,4	22,2
Cubierta prominente	7,6	10,0	19,0
Cubierta adosada a elemento prominente	8,0	13,0	19,8
Cubierta prominente con tambor	14,9	18,5	25,3
Otros edificios	10,3	40,3	16,8

Los nidos de cigüeña se situaron principalmente en ocho tipos de volúmenes edificados y en un tipo de volumen arbóreo (Fig 3.9). Los tipos de volúmenes edificados más frecuentes fueron la torre (25% de los nidos), el muro adosado (17%), la cubierta prominente con tambor (17%), y la cubierta prominente (14%). Existe un cierto patrón temporal en la utilización de estos volúmenes edificados a lo largo del periodo de estudio (Fig. 3.10). Por ejemplo, los primeros en utilizarse fueron las torres y los muros adosados, y los últimos fueron las cubiertas adosadas y los árboles.

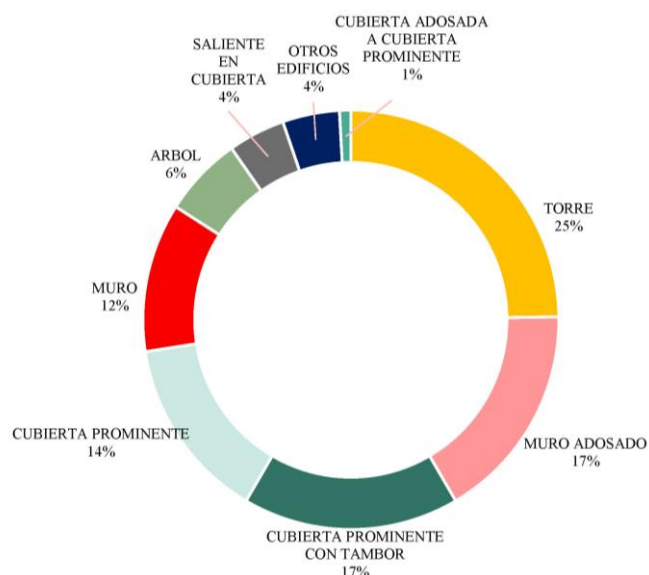


Figura 3.9: Porcentaje de nidos de cigüeña situados en los árboles y en los 8 tipos de volúmenes edificados en 2018 (113 nidos) en Alcalá de Henares. Los árboles y los volúmenes edificados están ordenados según el valor del porcentaje, de mayor a menor.

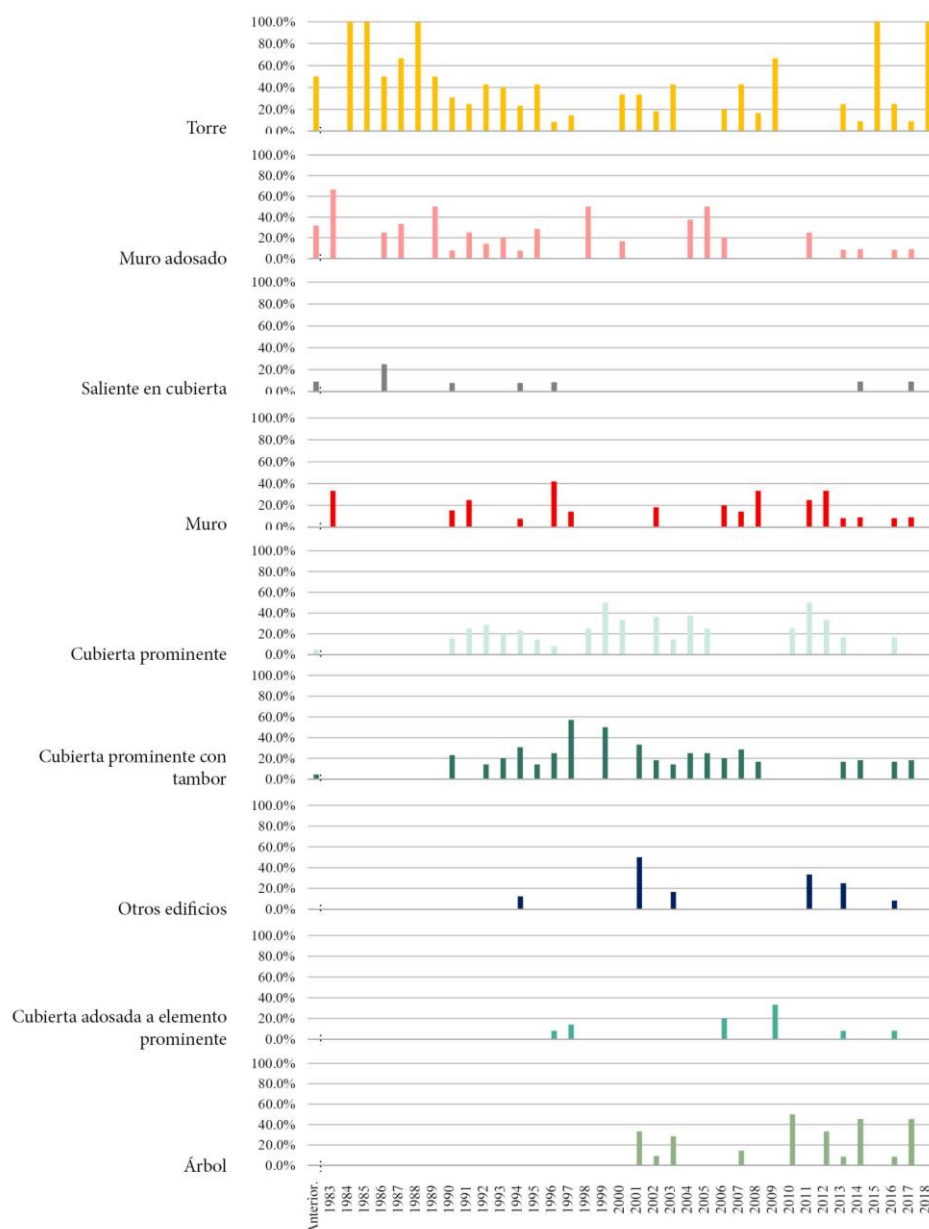


Figura 3.10: Porcentaje de nidos nuevos de cigüeña blanca construidos cada año en Alcalá de Henares en los árboles y en los ocho tipos de volúmenes edificadas. Los árboles y los volúmenes edificadas están ordenados según el orden cronológico de utilización por las cigüeñas durante el periodo 1983-2018.

Dentro de los volúmenes edificadas hemos diferenciado 7 ubicaciones diferentes de los nidos (Fig. 3.11). Las ubicaciones más utilizadas por las cigüeñas fueron las cubres (33% de los nidos) y las esquinas o vértices (30%). Existe un cierto patrón temporal en la utilización de estas ubicaciones (Fig. 3.12), por ejemplo, la cubre, la esquina y la repisa se han utilizado por las cigüeñas desde el principio del periodo de estudio, mientras que el hueco fue una de las últimas ubicaciones en utilizarse.

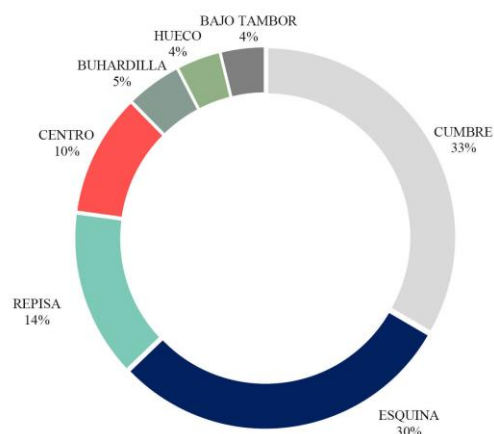


Figura 3.11: Porcentaje de nidos de cigüeña blanca situados en cada uno de los siete tipos de ubicaciones dentro de los edificios en 2018 en Alcalá de Henares. Las distintas ubicaciones están ordenadas según el valor del porcentaje, de mayor a menor.

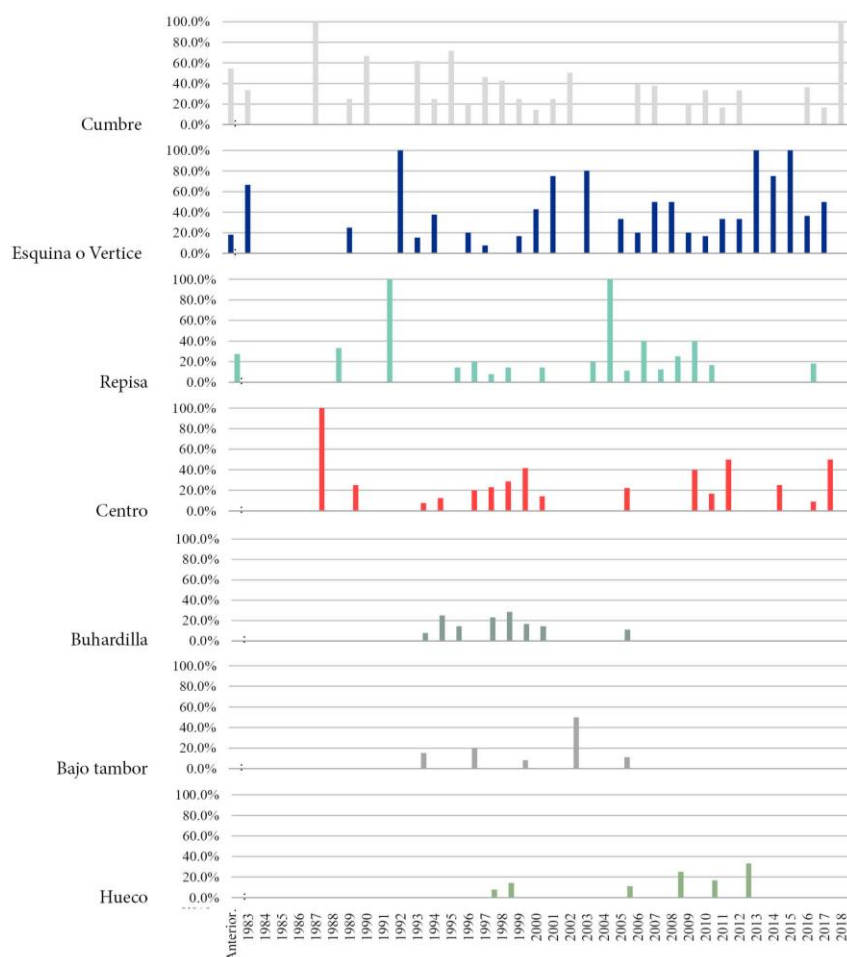


Figura 3.12: Porcentaje de los nidos nuevos de cigüeña blanca construidos cada año en Alcalá de Henares en cada uno de los siete tipos de ubicaciones dentro de los volúmenes edificadas. Las distintas ubicaciones están ordenadas según el orden cronológico de utilización por las cigüeñas durante el periodo 1983-2018.

3. 3. Estrategia seguida por las cigüeñas para estabilizar el nido

Las estrategias más frecuentes fueron el apoyo en lima (28% de los nidos), el apoyo sobre superficie irregular (28%) y el anclaje a elemento (20%) (Fig. 3.13). Existe un cierto patrón temporal en la utilización de los cinco tipos de estrategias (Fig. 3.14), por ejemplo, el último sistema de anclaje en utilizarse fue el encaje entre elementos.

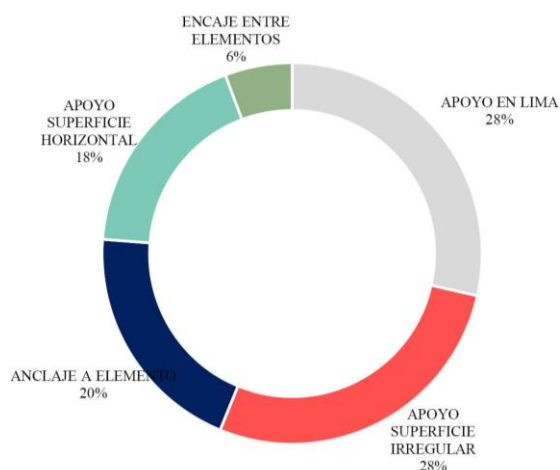


Figura 3.13: Porcentaje de los nidos de cigüeña en Alcalá de Henares situados en los cinco tipos de elementos de anclaje en 2018 en Alcalá de Henares. Las distintas estrategias están ordenadas según su valor del porcentaje, de mayor a menor.

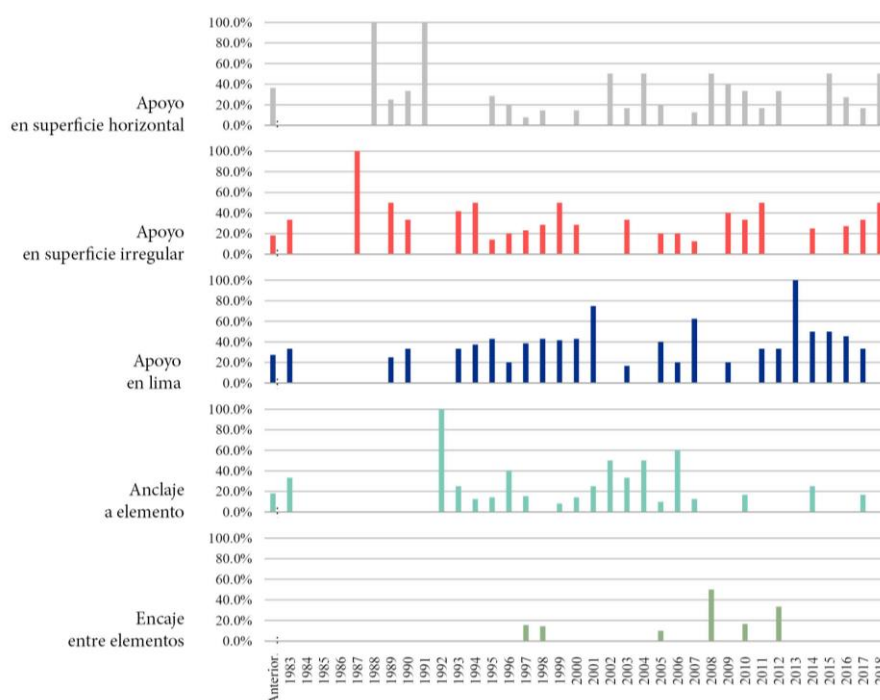


Figura 3.14: Porcentaje de los nidos nuevos de cigüeña blanca construidos cada año en Alcalá de Henares en cada uno de los cinco tipos de anclajes para estabilizar el nido. Las distintas estrategias están ordenadas según el orden cronológico de utilización por las cigüeñas durante el periodo 1983-2018.

3.4. Localización de los nidos en la trama urbana a una escala espacial más amplia

3.4.1. Agrupación espacial de los nidos

La distancia mínima media entre los nidos activos (NND media) cada año siempre estuvo por debajo de la distancia mínima media esperada por azar (NND por azar) (Fig. 3.15). La NND media tuvo un valor máximo de 70 m en 1988, y a partir de esa fecha disminuyó hasta situarse entre 20 y 30 m en la actualidad. El cociente entre la NND media y la NND esperada disminuyó durante el periodo de estudio (Fig. 3.16). Estos datos indican que los nidos estuvieron agrupados espacialmente y que dicho agrupamiento se intensificó a lo largo del periodo de estudio.

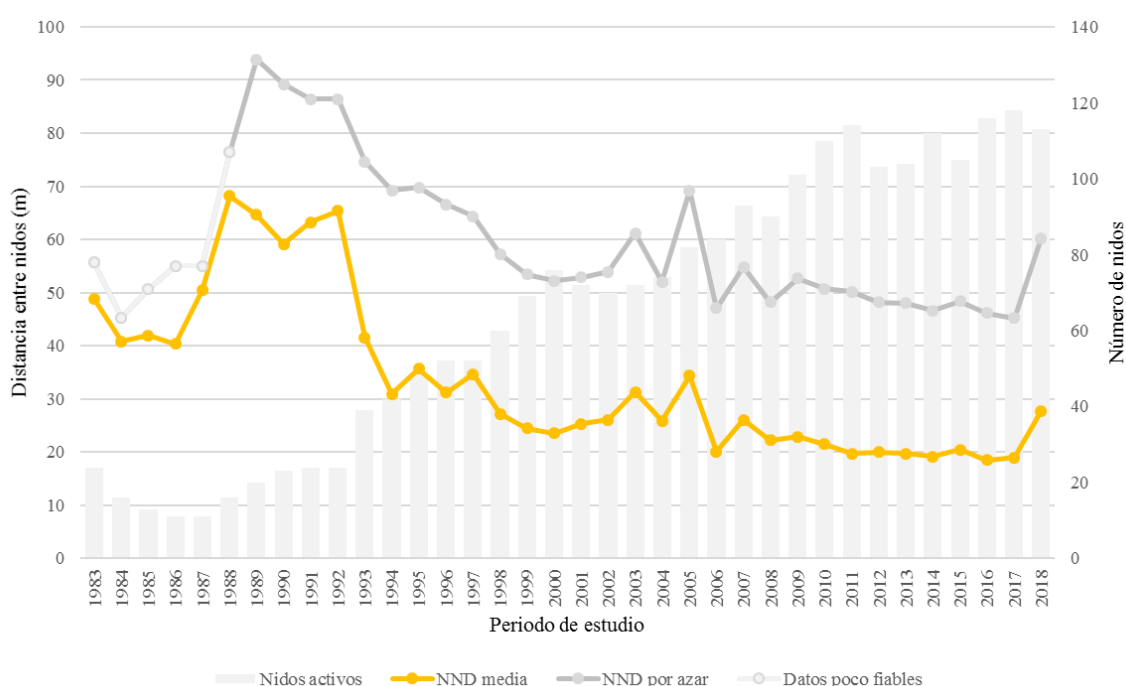


Figura 3.15: Media anual de la distancia mínima (m) entre los nidos activos (NND media) de cigüeña blanca en Alcalá de Henares en el periodo de 1983-2018 y media anual de la distancia mínima (m) entre los nidos activos esperada por azar (NND por azar).

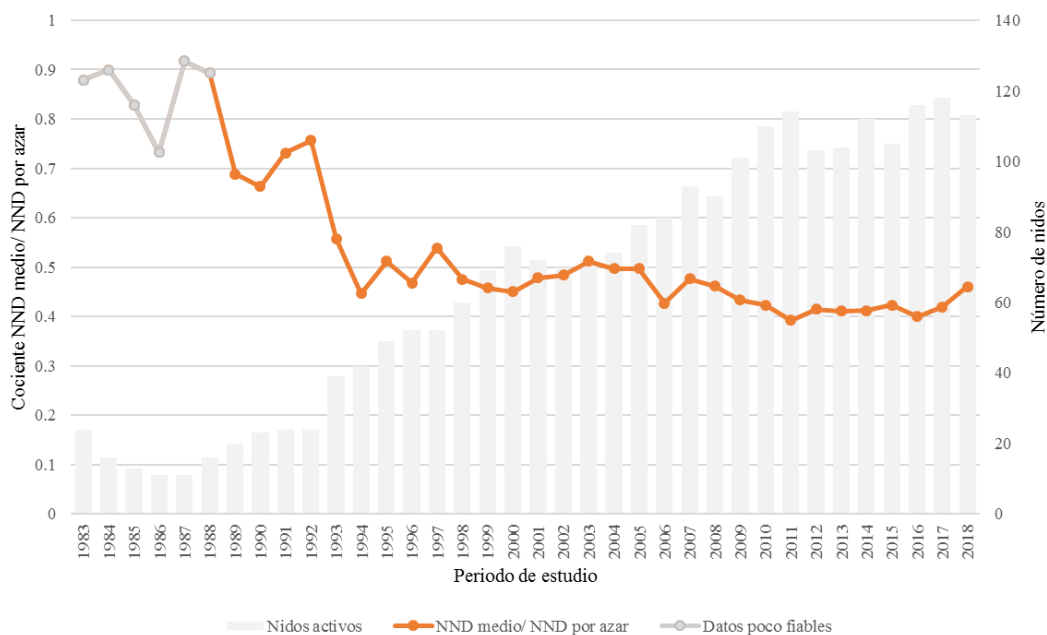


Figura 3.16. Cociente entre la distancia mínima real entre los nidos activos (NND media) y la distancia esperada por azar (NND por azar). En la actualidad la distancia media entre los nidos es aproximadamente la mitad de la que se esperaría por azar.

El número de subcolonias que se estimaron en función de la distancia del *buffer* alrededor de los nidos activos disminuyó según una función exponencial descendente (Fig 3.17). En la figura no se aprecian discontinuidades importantes que pudieran sugerir la presencia de subcolonias diferenciadas entre sí, es decir, agrupamientos de nidos en la ciudad separados por distancias bien definidas.

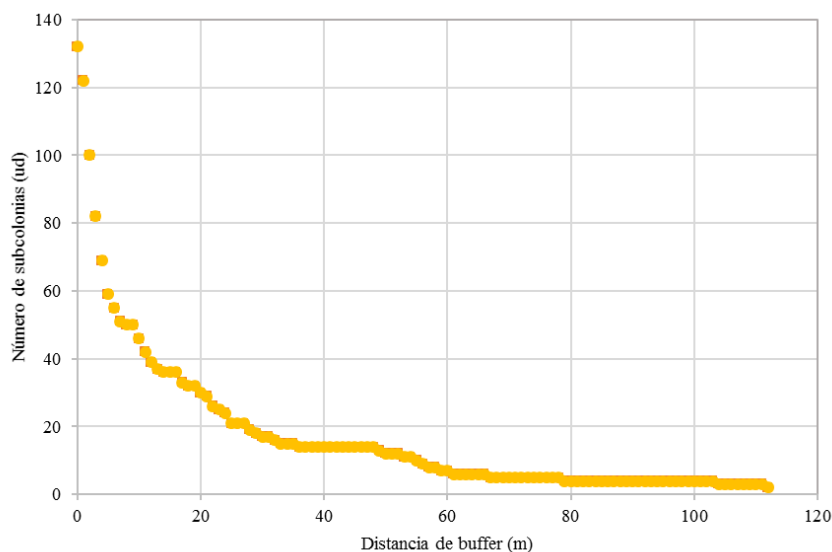


Figura 3.17: Número de agrupaciones de nidos (subcolonias) de cigüeña blanca en función de la distancia del *buffer* alrededor de los nidos en el año 2018 en Alcalá de Henares.

3.4.2. Concentración de los nidos en el casco histórico

El 99% de los nidos se situaron en el casco histórico de la ciudad (Fig. 3.18). Sólo 3 nidos de los 214 utilizados durante el periodo estudiado se ubicaron fuera del casco histórico y fueron contruidos sobre elementos de una gran esbeltez y con altura elevada –antena, chimenea y depósito (Fig. 3.19). Estos tres nidos fueron de construcción relativamente reciente (a partir de 2003) (Tabla 3.2). Alrededor de estos nidos las edificaciones eran de una planta y de altura reducida –ámbitos, 12, 13 y 34– (Fig. 3.20). Durante el periodo de estudio, no se observaron tentativas de construcción de nidos en ámbitos con varios edificios con más de 7 alturas (43, 8D, 5^a, 11C) –es decir, con una altura superior a 21 metros respecto del suelo. Los 15 nidos situados a una altura menor de 10 metros se concentraron principalmente en las ruinas del Palacio Arzobispal y en el Quiosco de la Música de la plaza de Cervantes.

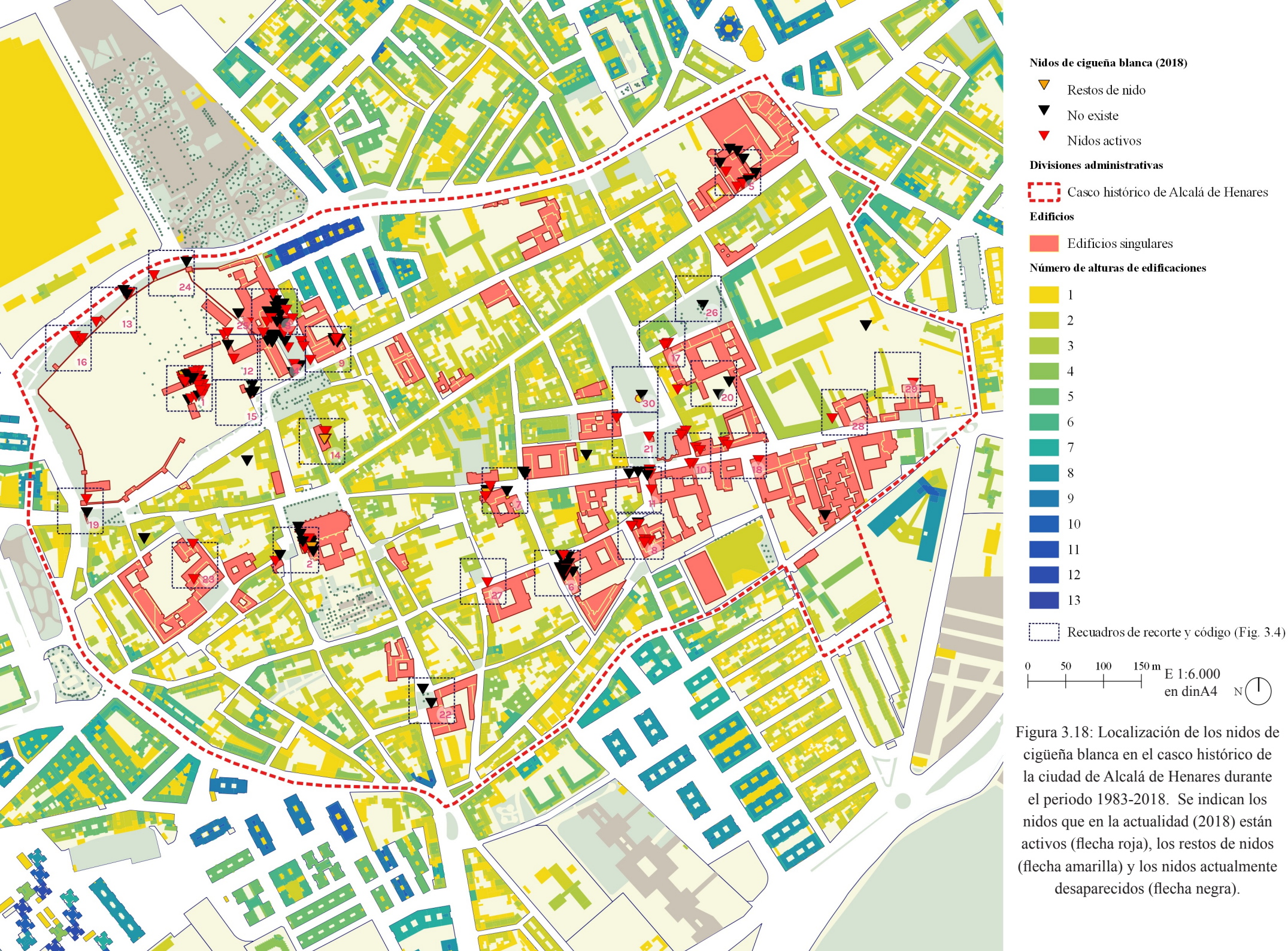


Figura 3.18: Localización de los nidos de cigüeña blanca en el casco histórico de la ciudad de Alcalá de Henares durante el periodo 1983-2018. Se indican los nidos que en la actualidad (2018) están activos (flecha roja), los restos de nidos (flecha amarilla) y los nidos actualmente desaparecidos (flecha negra).



Figura 3.19: Estructuras urbanas sobre las que están o estaban situados los tres nidos ubicados fuera del casco histórico de la ciudad de Alcalá de Henares (de izquierda a derecha, código de nidos 218, 219, y 234). Fuente: Google Street View. La fotografía de la antena de móviles no corresponde con la antena de Alcalá de Henares al no existir fotografías de ese nido.

Tabla 3.2: Ubicación, origen y primer año de ocupación de los tres nidos de cigüeña blanca contruidos fuera del casco histórico de la ciudad de Alcalá de Henares, ordenados según el primer año de construcción.

	Ubicación	Origen	Primer año de ocupación
Nido 218	Antena Móviles	Natural	2003
Nido 219	Chimenea Química Sintética	Natural	2005
Nido 234	Depósito de Aguas Gilitos	Natural	2018

3.4.3. Localización de los nidos respecto del vertedero

Todos los nidos que ha habido en Alcalá están situados en una parte del municipio relativamente cercana al vertedero, a una distancia media de 2,48 km (Fig. 3.20). A lo largo del periodo de estudio, la distancia media de los nidos al vertedero aumentó ligeramente, alrededor de 150 metros.

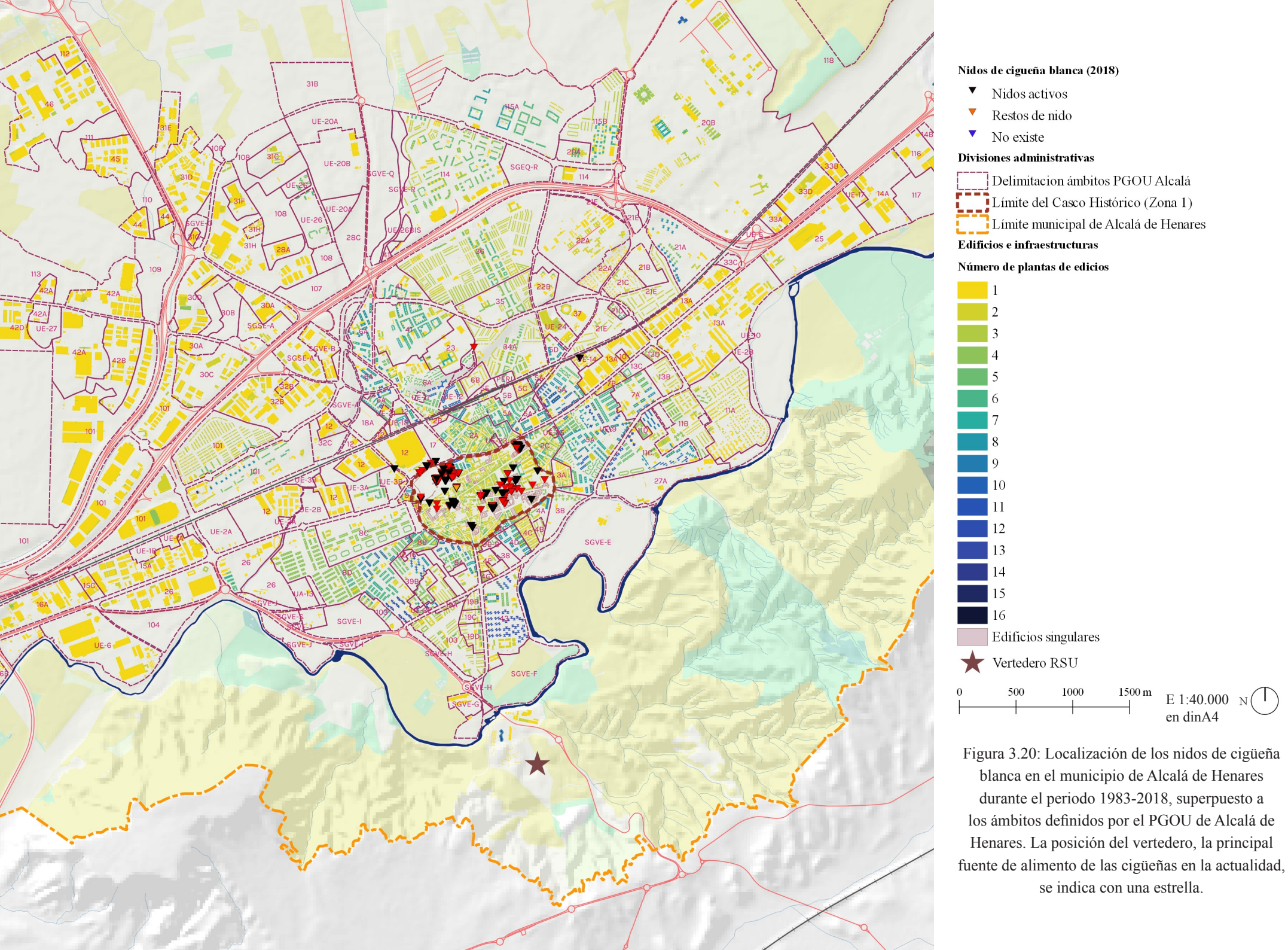


Figura 3.20: Localización de los nidos de cigüeña blanca en el municipio de Alcalá de Henares durante el periodo 1983-2018, superpuesto a los ámbitos definidos por el PGOU de Alcalá de Henares. La posición del vertedero, la principal fuente de alimento de las cigüeñas en la actualidad, se indica con una estrella.

4. Discusión

El número de parejas reproductoras en la colonia urbana de cigüeñas de Alcalá se quintuplicó durante el periodo de estudio, en paralelo con el aumento de la población de cigüeñas en la península. Actualmente es una de las colonias urbanas más importantes de España y del mundo. La mayoría de las parejas reproductoras construyó su nido sobre un volumen edificado (93%). Los volúmenes más utilizados fueron los más esbeltos y prominentes. Posiblemente esto permitió despejar el espacio de aterrizaje y despegue. La importancia de la estabilidad del nido para las cigüeñas quedó de manifiesto por la elección de sustratos rígidos y por el desarrollo de diferentes estrategias para estabilizar el nido. La cronología de utilización de los distintos tipos de lugares de nidificación ayuda a comprender las preferencias de la especie y su gran capacidad para adaptarse a distintas estructuras urbanas. El 99% de los nidos se situaron en el casco histórico, ámbito de la ciudad donde se concentran los edificios monumentales, y que está situado a una distancia relativamente corta (2,5 km aproximadamente) del vertedero de residuos sólidos de la ciudad. Las cigüeñas sólo construyeron nidos por debajo de 10 metros en contextos singulares. Las preferencias observadas han servido de base para diseñar nuevas estructuras urbanas que puedan representar buenos lugares de nidificación.

4.1. Caracterización de los lugares de nidificación a distintas escalas espaciales

4.1.1. Evolución histórica del número de parejas de cigüeñas en Alcalá

La población reproductora de cigüeñas de Alcalá se multiplicó casi por 5 en el periodo de 36 años estudiado, pasando de 24 nidos activos en 1983 a 113 nidos activos en 2018. Este aumento coincidió con el aumento del número de cigüeñas a escala nacional, cifrada en 1984 en 6.753 parejas reproductoras y estimada en la actualidad en unas 52.000 parejas (Lázaro et al. 1986; Prieto com. pers.). Este aumento de la población a escala nacional está relacionado con varios factores, no completamente independientes entre sí. Quizás el más importante es la explotación de nuevas fuentes de recursos tróficos que suministran abundante alimento a las cigüeñas durante todo el año, como los vertederos urbanos (Tortosa et al. 2002). También, la práctica desaparición del comportamiento migratorio de las cigüeñas adultas, lo que posiblemente ha contribuido a reducir la mortalidad. Aunque este cambio en el comportamiento migratorio posiblemente está relacionado con las nuevas fuentes de alimento explotadas en las

zonas de reproducción, también pudo estar influido por cambios en las zonas de invernada africanas –por ejemplo, la intensa sequía en el periodo 1970-1997–, cambios en los usos del suelo, disminución de las poblaciones de langostas de las que se alimentaban las cigüeñas por la fumigación con DDT, etc. (Nicholson et al. 1998). Finalmente, la declaración de las cigüeñas como especie protegida ha permitido frenar la retirada de nidos en los edificios más sensibles, como los edificios monumentales. Asociado a este estatus de especie protegida, ha habido una defensa activa por parte de ciertos grupos conservacionistas que, en el caso de la ciudad de Alcalá, han tenido un papel destacado –principalmente el colectivo Ciconia (Prieto 2002).

4.1.2. Utilización de los distintos tipos de volúmenes edificadas

En la ciudad de Alcalá las cigüeñas ocuparon volúmenes edificadas y árboles que sobresalieron de la trama urbana, a modo de promontorios. Los nidos estaban situados mayoritariamente a una altura mayor de 15 metros y sobre edificaciones de superficie basal inferior a 100 m², es decir, en edificios mayoritariamente esbeltos. Esta esbeltez es característica también de otros elementos utilizados en medios urbanos y seminaturales como silos y torretas de la luz (Roi 2007). En los ambientes más naturales las cigüeñas también anidan en este tipo de localizaciones, como, por ejemplo, sobre grandes rocas aisladas o en la copa de los árboles, que serían sus lugares originales de nidificación (Corrales 1996).

En la ciudad de Alcalá, los volúmenes edificadas fueron escogidos de forma mayoritaria frente a los árboles. Las cigüeñas urbanas prefirieron claramente los sustratos rígidos a los flexibles. En el resto de la península ibérica también es mayor la proporción de nidos sobre construcciones o infraestructuras, pero las preferencias no están tan marcadas como en el medio urbano (Martí y Del Moral 2004).

La selección de lugares elevados, esbeltos y bastante inaccesibles respondería a distintas necesidades de las cigüeñas. Por un lado, la necesidad de protegerse de los depredadores terrestres, incluidos los humanos (Mainwaring et al. 2014). Por otro lado, facilita las maniobras de aterrizaje y despegue de esta especie de elevado tamaño y envergadura y baja maniobrabilidad en las distancias cortas. Los elementos esbeltos suministran un espacio libre sobre el nido, que facilita el aterrizaje, y un espacio libre por debajo del nido, que facilita el despegue desde los nidos –porque las cigüeñas se dejan caer al vacío. Prefirieron las cumbres –maximizando el espacio de aterrizaje sobre el nido–, o

bien repisas esquinadas o esquinas de cubiertas –maximizando el espacio de caída bajo el nido, pero renunciando a los puntos más altos de la edificación.

Hubo una marcada cronología en los lugares de nidificación utilizados. Antes de 1983 escogieron principalmente torres y muros adosados –en particular, espadañas. La torre de la Catedral, el elemento más prominente del casco histórico alojó desde el principio varios nidos en su volumen. A partir de principios de los años 90, la colonización de las cubiertas prominentes –con y sin tambor– y de imafrentes permitió un aumento de la disponibilidad de lugares de nidificación. Los árboles han sido los últimos sustratos en utilizarse, ocupándose a partir de 2006. La utilización de nuevas ubicaciones para los nidos indica que las cigüeñas tienen una elevada capacidad de adaptación a los sustratos disponibles y aprenden a utilizar nuevos sustratos, una capacidad frecuente en la avifauna urbana (Moller et al. 2012).

A medida que avanzó el proceso de colonización de la ciudad y aumentó la densidad de parejas reproductoras, también se colonizaron ubicaciones que requieren mayores esfuerzos para la construcción del nido –como los huecos o el espacio bajo tambor–, o ubicaciones que no maximizaban el espacio de caída, ni ocupaban las cumbres –buhardillas. En este sentido, parece apreciarse un descenso de la calidad del hábitat escogido a lo largo del periodo de estudio, tal como Rodenhouse (1997) ha observado en otras localidades. En este sentido, la altura media de los nidos construidos cada año también disminuyó a lo largo del periodo de estudio.

Es posible preguntarse si la ganancia en altura del propio nido, como consecuencia del acúmulo de material en años sucesivos, es una estrategia de mejora del lugar de nidificación. Los nidos más altos aumentarían el espacio de caída bajo el nido y el espacio despejado sobre el nido, facilitando las maniobras de despegue y aterrizaje. Si la altura del nido es elevada, llegando a los 2 m de altura, el propio nido se convierte en una construcción prominente y esbelta. Esto ayudaría a explicar por qué otros autores consideran los nidos de mayor altura como nidos de mayor calidad (Vergara et al. 2010).

4.1.3. Elementos que dan estabilidad al nido

Todos los nidos estuvieron apoyados en sustratos que dotaron de estabilidad al nido. Al principio del periodo de estudio prefirieron las ubicaciones más sencillas (apoyo en superficie horizontal, en superficies rugosas o en limas de cubiertas). Posteriormente aparecieron estrategias más complejas –atado a línea de vida bajo tambor, encaje del

nido entre elementos. Esto denota una gran capacidad constructora por parte de las cigüeñas.

La existencia de elementos estabilizadores del nido es coherente con la idea de que los lugares de nidificación tienen que permitir la construcción de nidos estables, que aguanten el peso del propio nido y que el nido se mantenga durante el periodo de incubación de los huevos y la crianza de los pollos. Esto es especialmente importante en las aves grandes, como las cigüeñas, que tienen nidos pesados y periodos largos de incubación y crianza de los pollos: 33 días de incubación y 70 días de estancia de los pollos en el nido (Prieto 2002). El nido debe soportar los movimientos que realizan los pollos para aprender a volar, el impacto resultante de los aterrizajes de las cigüeñas y los empujes horizontales del viento. Además, las cigüeñas suelen utilizar los nidos año tras año, lo cual sólo es posible si el nido es estable.

4.1.4. Distribución espacial de los nidos en la trama urbana

Las cigüeñas se agruparon y concentraron en el casco histórico formando una única colonia. No hemos detectado la presencia de subcolonias claramente identificables, que estuvieran separadas unas de otras por distancias definidas. Más bien lo que detectamos fue un continuo espacial de nidos agrupados en número variable y separados entre sí por distancias diferentes en unos casos y otros. Esto sería el resultado de la elevada sociabilidad de la especie –cuyas parejas son capaces de agruparse y anidar muy cerca unas de otras (Molina y del Moral 2004)–, y de la distribución espacial irregular de los hitos arquitectónicos que utilizaron para instalar sus nidos.

La ciudad de Alcalá es una ciudad declarada como Patrimonio de la Humanidad por distintos motivos, entre los que destaca la existencia de un elevado patrimonio arquitectónico monumental –la mayoría de él concentrado en el casco histórico. Cuenta con 97 edificios y monumentos de interés histórico como monasterios, conventos, iglesias, colegios, etc (Palacios et al. 1997), muchos de ellos –al menos originariamente– de carácter religioso y educativo: colegios cisnerianos, colegios-convento, colegios seculares, etc. (Alcalá de Henares 1991). Este patrimonio arquitectónico es el resultado de los acontecimientos históricos singulares que ha tenido la ciudad, entre los que podemos destacar la elección de la ciudad de Alcalá como sede de la principal universidad del centro de España por el cardenal Cisneros. Las cúpulas, espadañas, torres, etc., de estos edificios históricos suministran abundantes localizaciones óptimas para los nidos.

Otra posible causa de la concentración, o al menos de la implantación inicial, de las cigüeñas en el casco puede tener su origen en otros aspectos de la historia de la ciudad. Un pasado marcado por el abandono, la Guerra Civil y el incendio del Palacio Arzobispal favoreció la concentración de edificios de grandes dimensiones abandonados en este área durante el periodo de estudio: la Torre de Santa María, el Antiguo Convento de Clérigos Regulares San José de Caracciolo, el Antiguo Convento de Carmen Calzado, y el antiguo Palacio Arzobispal. Los edificios abandonados son uno de los hábitats preferidos por la fauna urbana por su tranquilidad (Reynolds et al. 2018). En el caso de las cigüeñas, favorecen la presencia de superficies rugosas y crean espacios y recintos deshabitados, evitando molestias a los nidos. Por ejemplo, el edificio con mayor número de nidos en la actualidad se corresponde con las ruinas del Palacio Arzobispal. A pesar de la restauración de la mayoría de estos edificios –abandonados al principio del periodo de estudio–, el trabajo de la asociación Ciconia permitió que estas restauraciones no afectaran a la población de cigüeñas (Núñez 2018).

Otro aspecto importante para explicar la concentración de nidos en el caso histórico es la actual forma de su volumetría, que está protegida por normativa específica: el Plan Especial de Protección del Casco Histórico (Ayuntamiento de Alcalá de Henares 1998). Este plan fija una altura de entre 4 y 12 metros respecto del nivel del suelo en, al menos, el 40% de la superficie construida (Ayuntamiento de Alcalá de Henares 1998), sobre los que se alza el paisaje de torres, cúpulas, y otras cubiertas prominentes seleccionadas por las cigüeñas. En este sentido, es posible que la protección del patrimonio arquitectónico de Alcalá facilitara, indirectamente, la colonización de la ciudad por parte de las cigüeñas.

El análisis de la localización de los nidos según la altura de las edificaciones permite ampliar esta cuestión. Los nidos se concentraron en los volúmenes de mayor altura del casco antiguo, o en edificios de los años 70 de su perímetro inmediato. Las cigüeñas no trataron de anidar en ámbitos con edificios modernos de mayor altura y situados fuera del casco histórico. Esto sugiere que las cigüeñas no seleccionaron necesariamente los lugares de mayor altura absoluta, sino lugares con un amplio espacio entre los edificios prominentes. El paisaje deshabitado que se extiende sobre las cubiertas de teja, sobre los que destacan los distintos volúmenes prominentes, es comparable a los pastizales con árboles aislados donde crían las cigüeñas en las dehesas de encinas y fresnos (Corrales 1996).

Además, el análisis de alturas permite reflexionar sobre dos cuestiones adicionales. Primero, que los nidos situados en las alturas más bajas se realizaron en lugares donde no había molestias humanas. Es el caso de las ruinas del Palacio Arzobispal, que estuvieron cerradas al público hasta 2002. También cuando las cigüeñas procedían de centros de recuperación y estaban acostumbradas a la presencia humana, como es el caso del nido del Quiosco de la Música en la plaza de Cervantes. En segundo lugar, todos los nidos situados fuera del casco se situaron sobre infraestructuras o instalaciones prominentes como antenas de móviles, depósitos de agua y antiguas chimeneas de fábricas. En los ámbitos cuyas condiciones fueron definidas por el PGOU –que generalmente fija una altura máxima y homogénea de la edificación para cada ámbito–, sólo permitieron que sobresalieran estos volúmenes con uso de infraestructuras o de instalaciones.

4.1.5. Localización de los nidos en relación con el vertedero

A una escala espacial más amplia, es posible afirmar que la colonia de cigüeñas de Alcalá se situó a una distancia relativamente corta del vertedero de residuos urbanos, que concentró los residuos procedentes de la ciudad y de otros asentamientos humanos próximos. Las cigüeñas se beneficiaron de la existencia del vertedero, fuente de alimento abundante, que fue abierto en 1984 (El País 1984). El cierre del vertedero el pasado día 28 de diciembre de 2019 (Alcalá hoy 2019) supone un serio peligro a corto plazo si no se introducen nuevas fuentes de alimento abundante y predecible. Hay iniciativas en marcha por parte del Ayuntamiento, pero no acaban de consolidarse. Si no se adoptan medidas rápidamente, el éxito reproductor de la colonia se desplomará esta misma primavera como ha ocurrido ya en otras ciudades españolas (Sanz 2002).

Este problema no es exclusivo de Alcalá ni de las cigüeñas, sino que puede trasladarse a otras especies de aves que se alimentan en vertederos. La aplicación del Real decreto 1481 /2001 de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero que traspone la Directiva 99/31/CE, obliga a la reducción de la cantidad de residuos biodegradables y a que éstos sean tratados de forma que se reduzca significativamente su potencial de biodegradación. La nueva Directiva 2018/852 también limita al 10% la cantidad total de residuos municipales depositados en vertederos, entre los cuales sólo una fracción es orgánica. Es decir, la presencia de restos orgánicos en vertederos va a reducirse drásticamente, poniendo en riesgo a todas aquellas aves vulnerables que se alimentaban de ellos (Molina y Del Moral 2004).

4.2. Propuesta de construcción de lugares de nidificación en el medio urbano

Las aves urbanas se enfrentan a dos retos fundamentales. Por un lado, acceder a una fuente de alimento abundante y estable. Por otro lado, disponer de lugares de nidificación adecuados y seguros. Estos retos se acentúan en el caso de las aves grandes y coloniales como las cigüeñas, tal como hemos visto en los apartados anteriores de la discusión. Algunos resultados de este TFM sugieren que, tras el intenso crecimiento del número de parejas reproductoras, los lugares óptimos de nidificación para las cigüeñas han podido empezar a escasear.

La construcción de lugares de nidificación para cigüeñas en medios urbanos necesita de un acercamiento multiescalar. A una escala espacial amplia, deben llevarse a cabo dentro del área de distribución de la especie, y preferiblemente donde haya algún nido próximo. La trama urbana donde se traten de incorporar los lugares de nidificación debe tener una altura máxima edificable más o menos homogénea y, preferiblemente, baja (entre 3 y 12 metros). Las cubiertas de los edificios preexistentes en el ámbito urbano deben, preferiblemente, no tener uso intensivo. Si lo tuvieran, sería necesario considerar el plano de las cubiertas como el plano del espacio público a efectos de diseño. En este sentido, las zonas urbanas de uso industrial –logístico– o las zonas de vivienda unifamiliar adosada son –a priori– adecuadas.

Los volúmenes edificadas que se construyan pueden ser de nueva planta, o pueden ser estructuras ubicadas sobre edificios existentes, preferiblemente en sus esquinas. Los volúmenes deben ser lo más esbeltos posible. Pueden tener tanto un solo nido (tipo poste), como incorporar distintos nidos (tipo torre, muro, muro adosado, saliente en cubierta o cubierta prominente). Deben sobresalir, al menos, unos 15 m respecto del nivel del suelo, y también sobresalir respecto del nivel de las cubiertas. Para que estas estructuras sean esbeltas la superficie en planta debe ser inferior a unos 100 m² de superficie (preferiblemente menos). Ya que estos volúmenes pueden ser de un tamaño significativo, se recomienda que, si es posible, se proyecte un uso en su interior. Este uso no debería causar molestias al nido.

Cuando se realice un volumen edificado con distintos nidos, se puede tratar de maximizar el número de espacios de nidificación. Esto se puede realizar mediante la creación de cumbres escalonadas, la creación de múltiples esquinas o vértices y la incorporación de repisas a distintas alturas.

Los lugares de anidación deben asegurar la estabilidad del nido; en este sentido, es preferible que sean superficies rugosas o horizontales, o con varias limas que eviten los

desplazamientos laterales por viento de los nidos. Su área debe ser de, al menos, 1m², (preferiblemente algo mayor).

Desde un punto de vista de la normativa urbanística, para realizar estas construcciones en unidades homogéneas existentes, con un uso humano complementario, es necesario estudiar el estado legal descrito en el PGOU. Ese documento permite conocer las condiciones en que se podría construir un volumen prominente en ese espacio urbano. En general, no es común ver este tipo de volúmenes en nuevos desarrollos. Al fijar la normativa, la edificabilidad –superficie máxima que se puede construir en una superficie determinada– y un número máximo de alturas, construir un elemento prominente de forma legal implicaría a) que estuviera abierto o b) que estuviera vacío. Por lo general, el desarrollo de un volumen singular con uso humano en una unidad homogénea existente implicaría una modificación puntual del PGOU. Este trámite conllevaría un coste y un esfuerzo significativo. Sin embargo, introducir este tipo de cuestiones sería más sencillo desde el punto de vista legal en nuevos desarrollos, durante la redacción del planeamiento de desarrollo.

Otra solución más sencilla, que no requeriría de un cambio de normativa, consistiría en adecuar infraestructuras o instalaciones ya existentes (por ejemplo, en un depósito de agua o a una chimenea), añadiendo plataformas para nidos.

Aunque no exista una regulación específica sobre este tema, es posible que el diseño de este tipo de estructuras –si se realizan en edificios de los que deriva responsabilidad y hechas *exprofeso* para avifauna–, aumente la responsabilidad penal civil y administrativa del diseñador. Esto le hace, en alguna medida, responsable de cualquier daño a las personas, a la administración o al patrimonio que las cigüeñas o sus nidos pudieran causar durante los 10 primeros años, como describe la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.

5. Conclusiones

1) La población reproductora de cigüeñas urbanas de Alcalá ha experimentado un espectacular incremento en las últimas décadas, en consonancia con el incremento de la población reproductora a nivel nacional. Este incremento se ha visto favorecido por la explotación de nuevas fuentes de recursos tróficos, el abandono del comportamiento migratorio por parte de los adultos y la adquisición del estatus de especie protegida, con acciones de defensa activa de los nidos por parte de asociaciones ecologistas.

2) Para situar sus nidos, las cigüeñas escogieron las cubiertas de lugares prominentes y esbeltos que sobresalieron de la trama urbana. Prefirieron los volúmenes edificados rígidos frente a sustratos más flexibles como los árboles. Estos volúmenes generaron un paisaje topológicamente similar –y posiblemente más estable–, que los ecosistemas naturales donde anidan. Esto se asocia con un comportamiento anti-depredador y con la búsqueda de lugares que faciliten las maniobras de aterrizaje y despegue de esta ave, cuyo tamaño es relativamente grande y su maniobrabilidad en las distancias cortas es pequeña.

3) El estudio cronológico de la ocupación de los distintos tipos de lugares de nidificación permitió identificar preferencias por determinados sustratos de nidificación, observar la capacidad de la especie para aprender a utilizar nuevos sustratos y, finalmente, detectar una posible saturación de los emplazamientos óptimos en la ciudad. Las cigüeñas tuvieron una gran capacidad de adaptación al medio urbano y demostraron una gran capacidad constructiva. Estas características favorecieron la colonización de la ciudad.

4) En las ubicaciones de los nidos fue posible identificar diferentes estrategias para mejorar la estabilidad de los pesados nidos de cigüeña. Las estrategias más frecuentes fueron el apoyo en lima, el apoyo sobre superficie irregular y el anclaje a elemento. Estas estrategias permiten hacer frente a posibles esfuerzos horizontales y evitan que el nido vuelque.

5) Los nidos de cigüeña se localizaron principalmente en el casco histórico de la ciudad. Varios factores han contribuido a ello, como la abundancia de edificios monumentales singulares con lugares óptimos de nidificación, el estado de abandono de algunos edificios al inicio del proceso de colonización de la ciudad, la existencia de una normativa urbana que protege un perfil del casco con alturas relativamente bajas sobre las que destacan volúmenes edificados y esbeltos y, finalmente, la relativa cercanía del casco histórico al vertedero de residuos sólidos urbanos, la principal fuente de alimento para estas cigüeñas urbanas.

6) El vertedero ofreció una fuente de alimento abundante, fiable y cercana a la colonia de Alcalá. Si no se toman medidas oportunas, el reciente cierre del vertedero por aplicación de la normativa europea provocará el desplome de la población. Este proceso de estabilización de una población vulnerable, y de posterior desplome por desaparición de la fuente principal de alimento, le puede suceder a muchas otras aves que dependen de vertederos en un futuro próximo.

7) La presencia de lugares adecuados de nidificación puede ser un factor limitante para las cigüeñas en los medios urbanos. La construcción de estos lugares de nidificación es compleja y necesita una aproximación multiescalar. Los resultados de este trabajo permiten abordar este diseño, pero deben incorporar en cada caso las normativas urbanísticas existentes.

6. Agradecimientos

Quiero agradecer a mis tutores Salvador Rebollo y Juan Prieto toda la ayuda que me han brindado durante el tiempo que ha durado este trabajo. Han sido unos profesores extraordinariamente atentos, comprometidos, lúcidos y entusiastas. Ha sido un placer ser vuestra alumna de TFM y trabajar con vosotros.

Agradezco el apoyo recibido por la Universidad de Alcalá de Henares y su Departamento de Ciencias de la Vida y por el Ayuntamiento de Alcalá. En particular agradezco a Vicente Pérez –técnico municipal de Patrimonio– su inestimable ayuda en la recopilación de información y sus reflexiones sobre los conflictos entre la conservación del patrimonio natural y edificado. También agradezco la ayuda a Antonio Espinar, Jefe de Servicio de Topografía y Cartografía, por la recopilación de información disponible sobre la ciudad.

Agradezco a Eva Moreno García su ayuda en normativa urbanística.

Agradezco también a los exalumnos Miguel Ángel Sánchez, Sócrates Navarro y Antonio Manuel Gómez de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Alcalá de Henares, sus dibujos publicados en el documento “El Patrimonio Heredado” (Moreno 2007).

Finalmente doy las gracias a Narcis Molina Montasell y a Lucía Sánchez Rodríguez por su ayuda a la revisión del documento final.

7. Bibliografía

Alcalá de Henares. 1991. *Arquitectura para una ciudad y universidad recuperadas*. Universidad de Alcalá y Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Círculo de Bellas Artes, Madrid, España.

Alcalá Hoy, 2019 (28 de diciembre). In Este sábado ha cerrado definitivamente el vertedero de Alcalá de Henares tras cuarenta años. Disponible en: <https://www.alcalahoy.es/2019/12/28/cierra-definitivamente-el-vertedero-de-alcala-de-henares-tras-cuarenta-anos/> [Accedido enero 2020].

- AM Online Projects s.f. *Clima Alcalá de Henares*. Disponible en: <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-de-madrid/alcala-de-henares-2021/> [Accedido julio 2019].
- Ayuntamiento de Alcalá de Henares. 1998. Plan Especial de Protección del casco histórico. Disponible en: http://www.ayto-alcaladehenares.es/portalAlcala/contenedor1.jsp?seccion=s_fdes_d4_v1.jsp&codbusqueda=202&language=es&codResi=1&codMenuPN=3&codMenuSN=36&codMenu=466&layout=contenedor1.jsp [Accedido en: enero 2020].
- Ayuntamiento de Alcalá de Henares. 1996. Plan General de Ordenación Urbana (P.G.O.U.) y Rectificaciones. Disponible en: http://www.ayto-alcaladehenares.es/portalAlcala/contenedor1.jsp?seccion=s_fdes_d4_v1.jsp&codbusqueda=557&language=es&codResi=1&codMenuPN=3&codMenuSN=36&codMenu=615&layout=contenedor1.jsp [Accedido en: enero 2020].
- Camprodon, J., Guixé, D., Soler-Zurita, J. 2012. *Espais urbans. Manual de gestió d'hàbitats per a la fauna vertebrada*. Diputació de Barcelona i Obra Social “la Caixa”, Barcelona, España.
- Chenchouni, H. 2016. Variation in White Stork (*Ciconia ciconia*) diet along a climatic gradient and across rural-to-urban landscapes in North Africa. *International Journal of Biometeorology* 61(3): 549–564.
- Centro Nacional de Información Geográfica. 2019. Disponible en: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [Accedido en: enero 2020].
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (CMAOT). 2013. *Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres y de Árboles Singulares*. Comunidad de Madrid, Madrid, España.
- Corrales, L. 1996. *Las cigüeñas*. Amarú Ediciones, Madrid, España.
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Instituto de Meteorología (IM). 2011. *Atlas Climático Ibérico*. Agencia Estatal de Meteorología de España e Instituto de Meteorología, Madrid, España.
- De la Plaza, L., Morales, A., Bermejo, M. L., Martínez, J. M. 2012. *Diccionario visual de términos arquitectónicos*. Grupo Anaya, Madrid, España.
- Díaz, M., Martí, R., Gómez-Manzaneque, A., Sánchez, A. 1994. *Atlas de las aves nidificantes en Madrid*. SEO/BirdLife y Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, Madrid, España.

- Díaz, M., Asensio, B., Tellería, J.L. 1996. *Aves Ibéricas. I. No Paseriformes*. J.M. Reyero Editor, Madrid, España.
- El País, 1984 (10 de julio). Inaugurado en Alcalá de Henares el mayor vertedero de Madrid para residuos sólidos. Disponible en: https://elpais.com/diario/1984/07/10/madrid/458306657_850215.html [Accedido enero 2020].
- España 1999. Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. Boletín Oficial del Estado, núm. 266 de 26 de noviembre de 1999.
- España 2001. Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo de la Comunidad de Madrid. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, núm. 177 de 27 de julio de 2001.
- España 2001. Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Boletín Oficial del Estado, núm. 25 de 21 de enero de 2002.
- España 2007. Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Boletín Oficial del Estado, núm. 299 de 14 de diciembre de 2007.
- España 2011. Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. Boletín Oficial del Estado, núm. 46 de 23 de febrero de 2011.
- Fernández-Juricic, E., Jokimäki, J. 2001. A Habitat Island Approach to Conserving Birds in Urban Landscapes: Case Studies from Southern and Northern Europe. *Biodiversity and Conservation* 10: 2023–2043
- Fretwell, S. D., Lucas, H. L. 1970. On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds. I. Theoretical development. *Acta Biotheoretica* 19: 16-36.
- Galanthus Associació. 2016. Mesures per al Foment de la Biodiversitat Urbana a la ciutat de Girona.
- García M. A., Sánchez B. 2018. *Conservación y Fomento de la biodiversidad en Obras de Rehabilitación y Reforma de Segovia*. Ayuntamiento de Segovia y SEO/BirdLife, Segovia, España.
- García, S., Granell, L. 2019. *Arquitectura i fauna urbana. Solucions arquitectòniques en rehabilitacions i obra nova per integrar espais de nidificació i refugi*. Ajuntament de Barcelona, Barcelona, España.

- Goddard, M. A., Dougill, A. J., Benton, T. G. 2010. Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology and Evolution* 25(2): 90-98.
- Gunnel, K., Williams, C., Murphy, B. 2013. *Designing for Biodiversity: A technical guide for new and existing buildings*. RIBA Publishing, Londres, Reino Unido.
- Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., Kennedy, C. 2013. Waste production must peak this century. *Nature* 502: 615-617.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2019. *Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero*. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2881> [Accedido septiembre 2019].
- Instituto Tecnológico y GeoMinero de España. 1990. *Mapa Geológico de España 1:50.000 - Alcalá de Henares*. Instituto Tecnológico y GeoMinero de España, Madrid, España.
- Jerzak, L., Tryjanowski P. 2014. 1st International White Stork Conference. Conference paper. Zielona Gora.
- Johnson, C., Balmford, A., Brook, B., Buettel, J., Galetti, M., Lei, G., Wilmshurst, J. 2017. Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. *Science* 356: 270-275.
- Juana, E., Varela, J. M. 2016. *Aves de España*. Lynx Edicions, Barcelona, España.
- Lázaro, E., Chozas, P., Fernández-Cruz, M. 1986. Demografía de la cigüeña blanca (*Ciconia Ciconia*) en España. Censo Nacional de 1984. *Ardeola* 33: 131-169.
- Luniak, M. 2004. Synurbization – adaptation of animal wildlife to urban development. *Proceedings 4th International Urban Wildlife Symposium* (1): 50-55.
- Mainwaring, M. C., Hartley, I. R., Lambrechts, M. M., Deeming, D. C. 2014. The design and function of birds' nests. *Ecology and Evolution* 4(20): 3909–3928.
- Martí, R., del Moral, J. C. 2003. *Atlas de las Aves Reproductoras de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Sociedad Española de Ornitología, Madrid, España.
- Marzluff, J. M. 2016. A decadal review of urban ornithology and a prospectus for the future. *International Journal of Avian Science* 159: 1-13.
- McGaughey, R. J. 2009. *FUSION/LDV: Software for LIDAR data analysis and visualization*. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Seattle, EEUU.

- Molina, B., Del Moral, J. D. 2004. *La Cigüeña Blanca en España. VI Censo Internacional (2004)*. SEO/BirdLife, Madrid, España.
- Moller A. P., Diaz, M., Flensted-Jensen, E., Grim, T., Ibáñez-Álamo, J. D., Jokimäki, J., Mänd, R., et al. 2011. High urban population density of birds reflects their timing of urbanization. *Oecologia* 170 (3): 867-875.
- Moreno Peral, A. 2007. *El patrimonio heredado: el casco histórico de Alcalá de Henares*. Servicio de Publicaciones del Ayuntamiento de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, España.
- Nicholson, S.E., Tucker, C. J. & Ba, M. B. 1998. Desertification, drought and surface vegetación: an example from de west African Sahel. *Bulletin of the American Meteorogoly society*, 79:815-829.
- Núñez, A. 2018. *Favoreciendo la avifauna urbana: el caso de la cigüeña blanca en la ciudad de Alcalá*. Tesis de Final de Grado, Universidad de Alcalá, España.
- Palacios J. C., Pérez, J., Pérez, E. M. 1997. *Guía histórico-artística de Alcalá de Henares*. Ayuntamiento de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, España.
- Prieto, J. P. 2002. *Las cigueñas de Alcalá*. Ayuntamiento de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, España.
- Reynolds, S. J., Ibáñez-Álamo, J. D., Sumasgutner, P., Mainwaring, M. C. 2018. Urbanisation and nest building in birds: a review of threats and opportunities. *Journal of Ornithology* 160: 841-860.
- Rodenhouse N.L., Sherry T.W., Holmes R.T. et al. 1997. Site-dependent regulation of population size: A new size. *Ecology* 78 (7): 2025-2042.
- Rodríguez de la Fuente, F., Varela, J. M., Fernández de la Viña, I. 1978. *Las cigüeñas. Cuadernos de Campo*. Editorial Marín, Barcelona, España.
- Roi, T. 2007. *La cigogne blanche*. Éditions Sud Ouest, Burdeos, Francia.
- Rowe, C., Koetter, F. 1998. *Collage City*. The MIT Press, Cambridge, EEUU.
- Sanz, F. J. 2002. *Fracaso reproductor de la cigüeña blanca*. El Adelantado de Segovia del día 22-07-2002, pag. 18. Segovia
- Schulz, H. 1999. *White Storks on the up? Proceedings of the International Symposium on the White Stork*. Naturschutzbund Deutschland, Bonn, Alemania.
- Sede Electrónica del Catastro. 2019. Disponible en: <https://www.sedecatastro.gob.es/Accesos/SECAccDescargaDatos.aspx> [Accedido en: enero 2020].

- Skov, H., 2003, *Storken, En kultur- og naturhistorie*, Gads Forlag, Copenague, Dinamarca.
- Soja, E. W. 2008. *Postmetrópolis. Estudios críticos sobre las ciudades y las regiones*. Traficantes de Sueños, Madrid, España.
- Strohbach, M. W., Haase, D., Kabisch, N. 2009. Birds and the city: urban biodiversity, land use, and socioeconomics. *Ecology and Society* 14(2): 31.
- Tortosa, F. S., Caballero, J. M., Reyes-López, J. 2002. Effect of Rubbish Dumps on Breeding Success in the White Stork in Southern Spain. *Waterbirds* 25(1): 39-43.
- Unión Europea 1999. Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.
- Unión Europea 2018. Directiva 2018/852 del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases.
- United Nations. 2018. *World Urbanization Prospects. The 2018 Revision*. United Nations, Nueva York, EEUU.
- Vergara, P., Gordo, O., Aguirre, J. I. 2010. Nest size, nest building behavior and breeding success in a species with nest reuse: the white stork *Ciconia ciconia*. *Annales Zoologici Fennici* 47: 184-194.
- Wikipedia. Anexo: Colegios históricos de la Universidad de Alcalá. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Colegios_hist%C3%B3ricos_de_la_Universidad_de_Alcal%C3%A1 [Accedido en: enero 2020].

8. Anexos

Anexo 1. Definiciones

Para el análisis de la nidotópica de la cigüeña se ha seguido la siguiente terminología.

- **Nido natural:** nido cuya ubicación ha sido seleccionada por la cigüeña.
- **Nido artificial:** nido cuya ubicación ha sido seleccionada por diversos agentes sociales dedicados a la conservación de la cigüeña mediante la instalación de plataformas metálicas o plataformas metálicas con palos.

Este estudio sólo se realizó con los nidos de origen natural; por ello, los términos que se definen a continuación se refieren exclusivamente a éstos:

- **Nido activo:** nido utilizado por las cigüeñas el año indicado y donde ha habido puesta de huevos. Puede ser un nido nuevo, reutilizado o rehecho.

- **Nido nuevo:** nido nuevo construido el año de estudio.
- **Nido reutilizado:** nido que se viene ocupando con normalidad y de manera consecutiva.
- **Nido rehecho:** nido construido en la misma ubicación que un nido natural anterior que había desaparecido.

Desde el punto de vista del estado de cada nido en un momento concreto, se distinguen tres categorías:

- **Nido completo:** nido activo (nuevo, reutilizado o rehecho).
- **Restos de nido:** nido no ocupado por cigüeñas, pero donde quedan restos del nido (sarmientos, barro, etc.).
- **Nido totalmente desaparecido:** nido antiguo del cual no quedan restos de su presencia en la actualidad.

Se define una serie de términos para referirse a la ubicación relativa dentro del edificio:

- **Árboles:** copas de distintas especies, principalmente cedros y pinos.
- **Muro adosado:** conjunto de muros y espadañas que están adosados a otra edificación y que son de mayor altura que la misma. Las espadañas suelen tener mayor elevación sobre el edificio y ser más esbeltas que los muros.
- **Muro:** muro exento, sin construcciones adosadas en toda su longitud.
- **Cubierta prominente:** volúmenes cuya cubierta se eleva respecto del resto de cubiertas de alrededor”. Su geometría es variable.
- **Cubierta prominente con tambor:** dentro de las cubiertas prominentes existe un subgrupo que contiene un volumen prominente de menor tamaño sobre el volumen.
- **Cubierta adosada a elemento prominente:** cubierta donde un vértice no sobresale respecto del entorno al estar adosado a un elemento de mayor altura.
- **Saliente en cubierta:** conjunto de construcciones realizadas sobre una cubierta que se eleva respecto de su entorno.
- **Torre:** construcciones exentas y de gran esbeltez.
- **Otros edificios:** resto de edificaciones donde las cigüeñas han construido nidos que no presentan una volumetría clara. Por lo general son edificios altos de distintos tipos con un marcado carácter horizontal.

Por otra parte, se define una serie de términos para referirse a la ubicación relativa dentro del edificio. Se definen 7 categorías:

- **Cumbre o cumbrera:** el nido se ubica en el punto más alto del volumen.
- **Centro:** el nido se ubica centrado en la línea de cornisa, o bien en una posición centrada sobre un muro.
- **Esquina o vértice:** el nido se ubica sobre un vértice de la cubierta, o en un extremo de la parte superior del muro, ampliando el espacio despejado bajo el nido.
- **Hueco:** el nido se ubica en un hueco abierto en un paramento vertical de un volumen. Está cubierto.
- **Repisa:** el nido se ubica en una repisa saliente respecto de un paramento vertical del volumen.
- **Buhardilla:** el nido se ubica sobre una buhardilla presente en cubierta.
- **Bajo tambor:** el nido se ubica bajo el tambor de una cubierta.

Finalmente, se definen 5 estrategias utilizadas por cigüeñas para dotar de estabilidad al nido:


- **Apoyo en superficie horizontal:** el nido se apoya en una superficie lisa y horizontal.
- **Apoyo en superficie irregular:** el nido se apoya en una superficie rugosa con huecos y desniveles.
- **Apoyo en lima:** el nido se apoya sobre una lima (arista que define una superficie convexa de una cubierta) de una cubierta.
- **Anclaje a elemento:** los materiales del nido se entrelazan a elementos fijos de una cubierta
- **Encaje entre elementos:** el nido se encaja entre elementos de mayor altura que podrán ser incorporados al nido (englobados por el crecimiento) o quedar como contrafuertes del mismo.

Anexo 2:

Situación de los nidos en algunos edificios protegidos por el Plan Especial de Protección del Casco Histórico en 2008.


Los edificios fueron ordenados según el número de nidos que se construyeron en ellos, de mayor a menor.

Fuente alzados: Moreno 2007


 Delimitación casco histórico (PGOU 1997)

 Edificios protegidos representados

 Otros edificios singulares

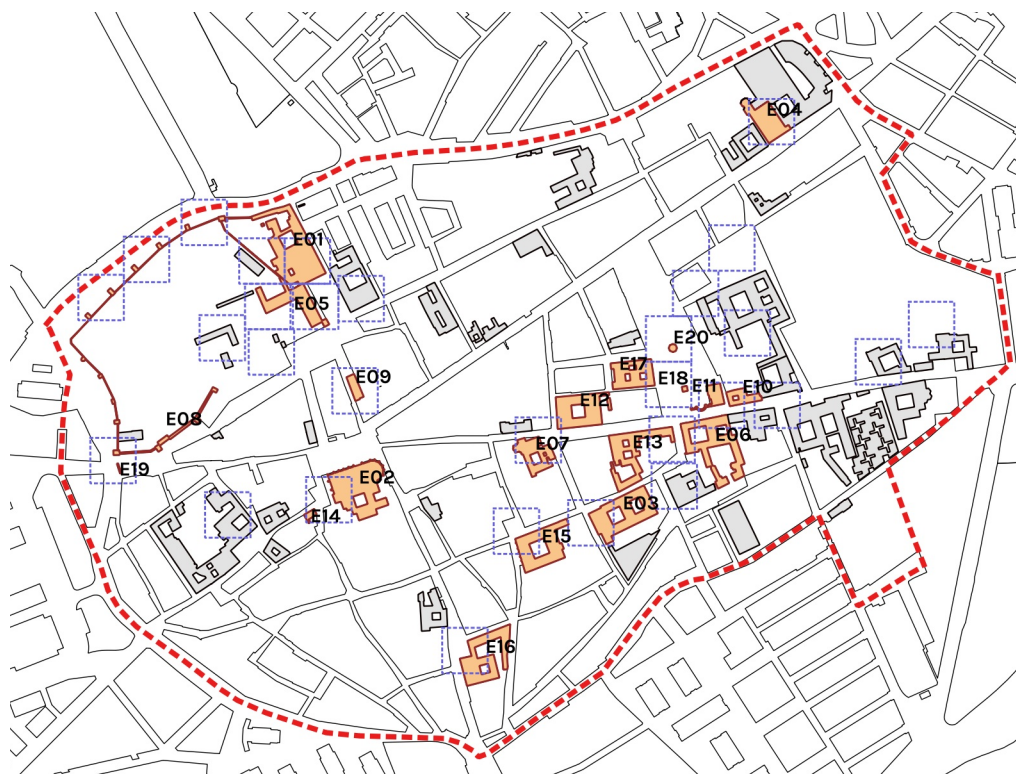
 nidos activos

 restos de nido

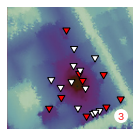
 nidos desaparecidos

Se representan 105 nidos de los 214 nidos analizados en este TFM.

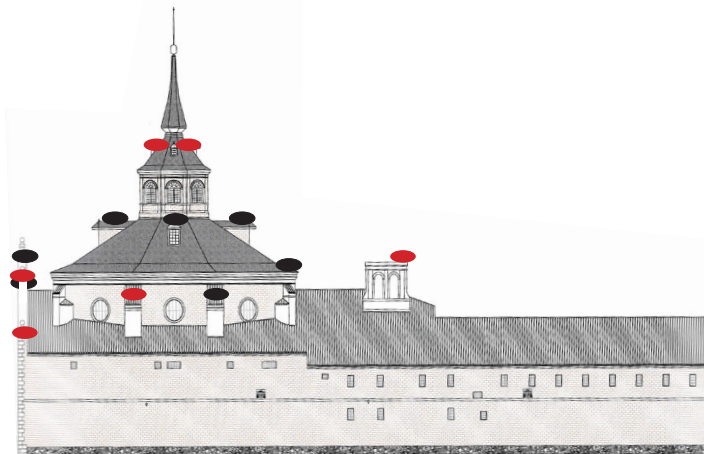
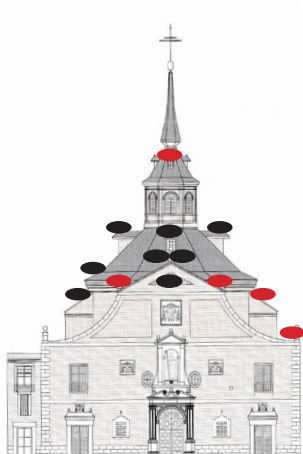
*No se dispone de escala al no existir escala en el documento de referencia.



E01| Convento de Saen Bernado "Las Bernardas"



Se representan
7/9 nidos activos
11/12 nidos desaparecidos



E02| Catedral Magistral

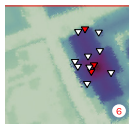
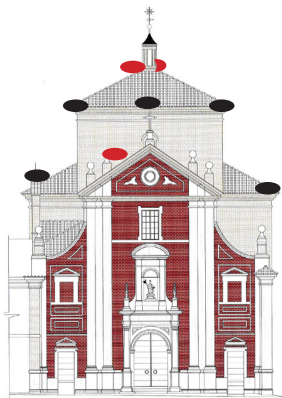


Se representan
8/9 nidos activos
7/11 nidos desaparecidos



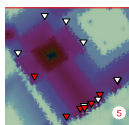
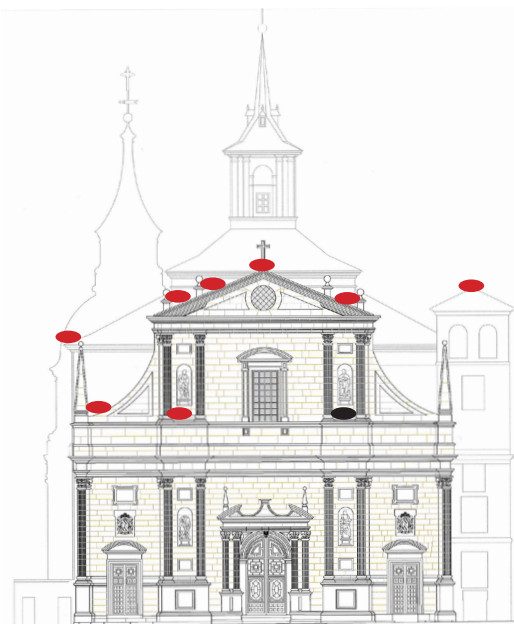
E03| Facultad de Filosofía y Letras
Antiguo Convento de
Clérigos Regulares de San
José de Caracciolo

Se representan
 3/9 nidos activos
 5/11 nidos desaparecidos



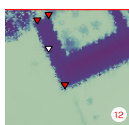
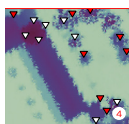
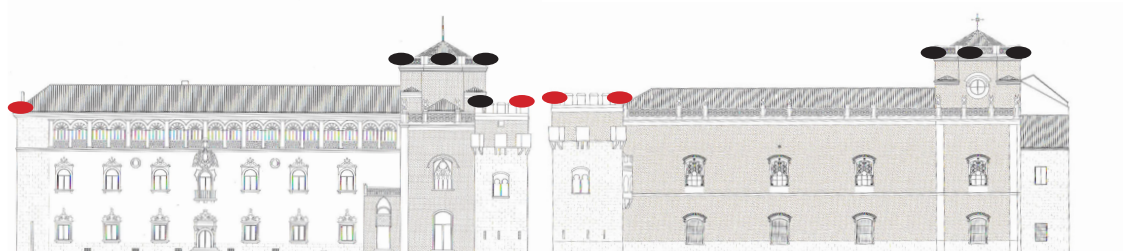
E04| Iglesia de
Santa María La Mayor
Antigua Iglesia de los
Jesuitas

Se representan
 8/8 nidos activos
 1/6 nidos desaparecidos



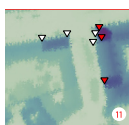
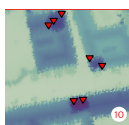
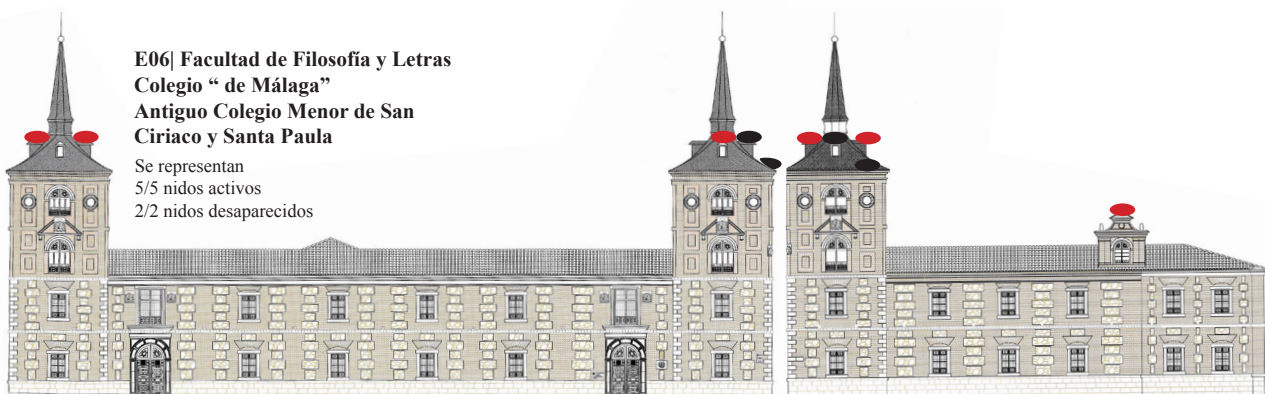
E05| Palacio
Arzobispal

Se representan
 3/5 nidos activos
 5/6 nidos desaparecidos

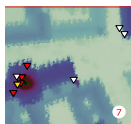


E06| Facultad de Filosofía y Letras
Colegio “ de Málaga”
Antiguo Colegio Menor de San
Ciriaco y Santa Paula

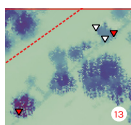
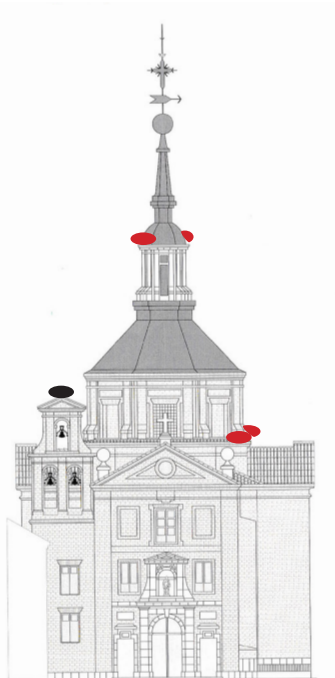
Se representan
 5/5 nidos activos
 2/2 nidos desaparecidos



**E07| Convento de las
Agustinas Descalzas
de Santa María
Magdalena o de
Nuestra Señora de la
Consolación**

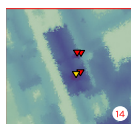
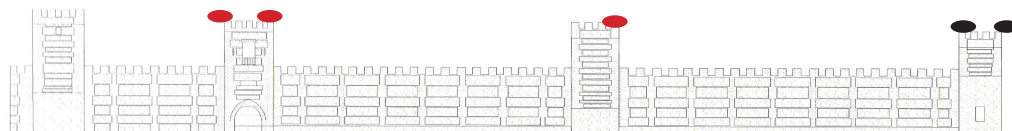


Se representan
4/4 nidos activos
1/2 nidos desaparecidos



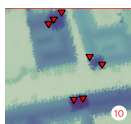
**E08| Recinto
Amurallado Medieval**

Se representan
3/4 nidos activos
2/2 nidos desaparecidos



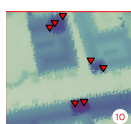
**E09| Oratorio
San Felipe Neri**

Se representan
3/3 nidos activo
1/1 restos de nido



**E10| Colegio de Abogados
Antiguo Colegio
Menor de Teólogos
de la Madre de Dios**

Se representan
4/4 nidos activos

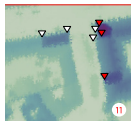
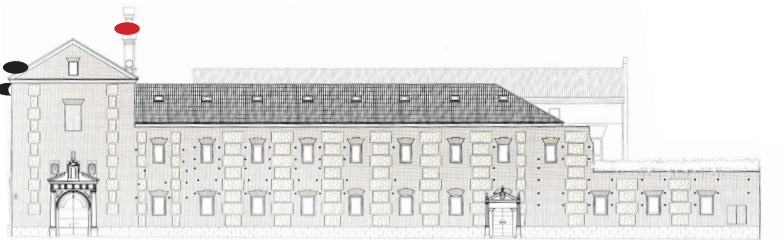


**E11| Capilla
de Oidor**
Se representan
3/3 nidos
activos

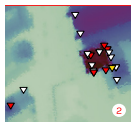




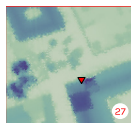
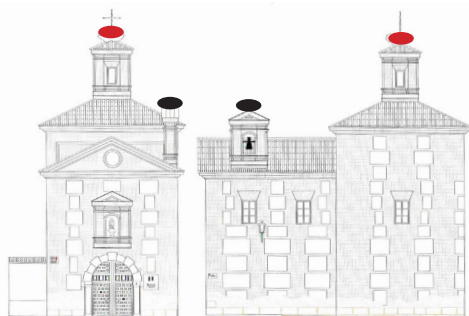
**E12| Escuela de
Arquitectura
Antiguo Convento
de Carmen Calzado**
Se representan
1 nido activo
2/2 nidos desaparecidos



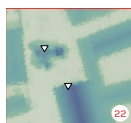
**E13| Convento
de Concepcionistas
Franciscanas
de la Inmaculada
Concepción**
Se representan
2/2 nidos desaparecidos



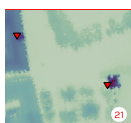
**E14| Ermita
de Santa Lucía**
Se representan
1/1 nidos activos
1/1 nidos
desaparecidos



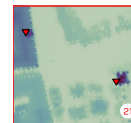
**E15| Convento de
Franciscanas de
Nuestra Señora de la
Esperanza "Claras"**
Se representan
1/1 nidos activo



**E16| Iglesia del
Colegio de los
Mercedarios Descalzos
de la Visitación de
Nuestra Señora
"Sementales"**
Se representa
1/1 nido desaparecido



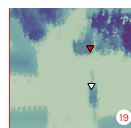
**E17| Ayuntamiento
Palacio Consistorial
Antiguo Colegio
Menor de Clérigos
Ministros de los enfermos
de San Carlos Borromeo
"Agonizantes"**
Se representa
1/1 nido activo



**E18| Torre
de Santa María**
Se representan
1/1 nidos activo



**E19| Quiosco
de la música**
Se representa
1/1 nido desaparecido



**E20|
Puerta de Madrid**
Se representan
1/1 nidos desaparecidos

